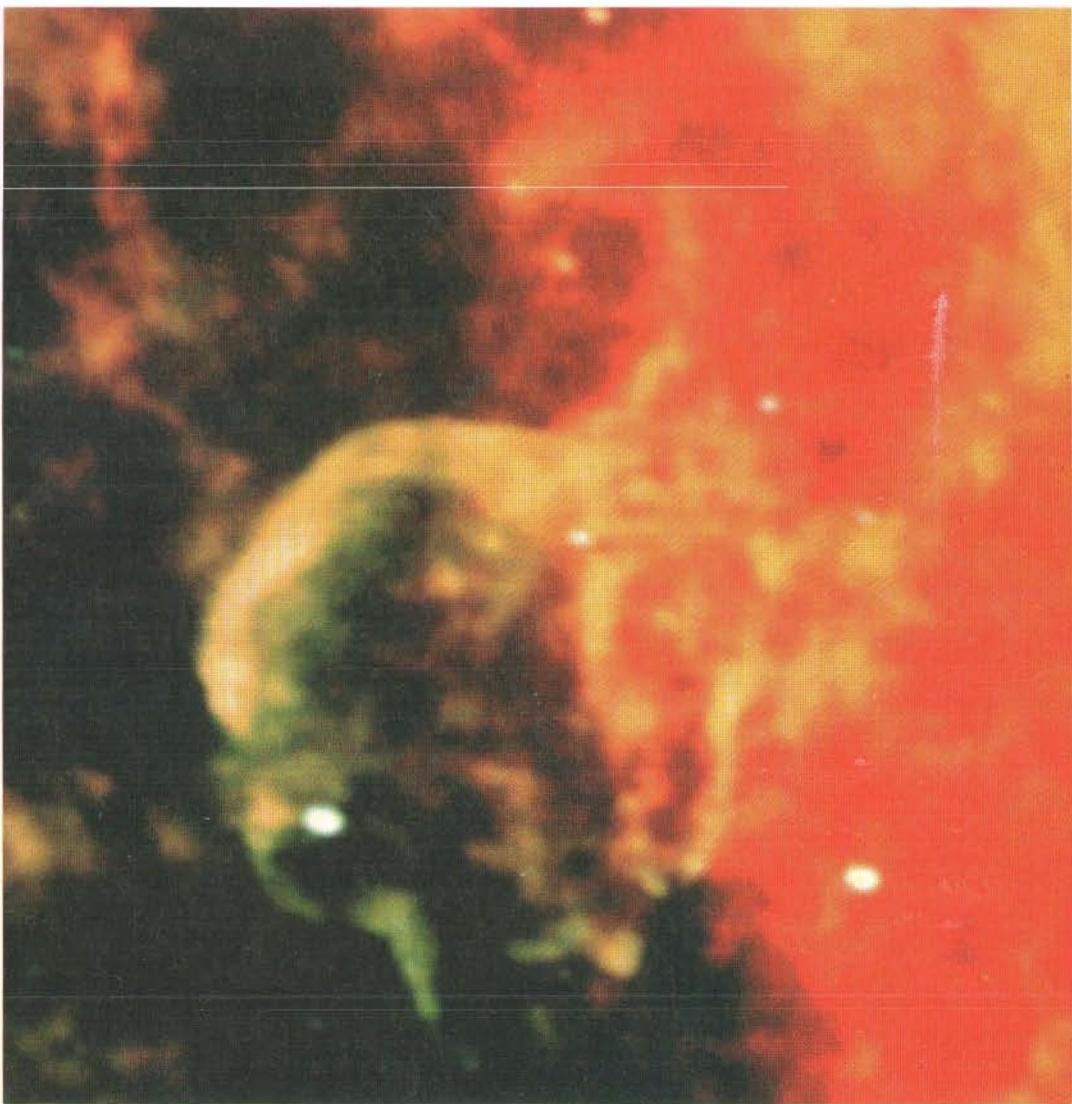


**6**

57<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '89 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



**BIG BANG OF STEADY STATE? CHEMISCHE REACTOREN /  
BIJEGIF / HOOGVERMOGEN GASLASERS / MENSEN AAN DE MAAS /  
DE BACTERIËN VAN HET DARMKANAAL**

# RUIMTEVAARTREIS DOOR DE SOVJET-UNIE

Begeleid door

**Ruimtevaart journalist  
Piet Smolders**

hoofd Zeiss Planetarium Artis

Tijdens deze reis zullen we de ontwikkeling van de Russische ruimtevaart van nabij bekijken. Zowel de nog in gebruik zijnde plaatsen als het woonareaal en de trainingsruimten van de kosmonauten en het vluchtleidingscentrum komen aan bod, als ruimtevaartmusea die de ontwikkelingen tonen vanaf de allereerste vlucht tot heden.

Naast dit ruimtevaartaspect zullen we u ook nog iets van het historische en alledaagse leven van Rusland laten zien. Moskou, Kiev en Leningrad . . . . onweerstaanbaar mooie steden die u zelfs het boeiende ruimtevaartleven van Joeri Gagarin voor een moment zullen doen vergeten!

**Reisdatum: 21 oktober-2 november.**

## Kenia

Begeleid door Dr. Titia Brantsma-van Wulfften Palté, ethologe. 31 aug. - 23 sept. / f 8.275,-

## Kenia met Turkana

Begeleid door Hubert Lehaen, conservator van het Natuurreservaat "HAGEVEN" te Neerpelt; natuur- en vogelfotograaf. 2 - 24 september / f 7.985,-

## Israël

Begeleid door Ad Wittgen, roofvogelonderzoeker, veldornitholoog en directeur van het bekendste natuurmuseum Natura Docet te Denekamp. Assistentie ter plaatse van Menachem Adar, bekend Israëlsch ornitholoog. 13 - 26 september / f 3.685,-

## Tuinen van Toscane

Begeleid door Nico Vermeulen, redacteur van het natuurblad Gras duinen. 28 september - 8 oktober / f 1.985,-

## Cap Criz Nez

Begeleid door Hubert Lehaen, conservator van het Natuurreservaat "HAGEVEN" te Neerpelt; natuur- en vogelfotograaf. 6 - 8 oktober / f 295,-

## China, moeder der Tuinen

Begeleid door Dr. Leslie Tjon Sie Fat, wetenschappelijk medewerker bij Hortus Botanicus te Leiden. 8 - 28 oktober / f 8.190,-



Naast de culturele bezoeken:  
Poelkovo sterrenwacht, Sterrendorp  
Zwozdnuyi Gorodok, Polytechnisch museum,  
Vluchtleidingscentrum Kalinin,  
Min Vody-Ratan 600, Radiotelescoop in  
Zelenchuskaya.

**Reissom f 3.985,-**

## New York en Chicago

Begeleid door Dirk Baalman, als architectuurhistoricus verbonden aan de V.U. te Amsterdam.  
12 - 22 oktober (herfstvakantie) / f 2.950,-

## Sicilie

Begeleid door Prof. dr. W. J. Th. Peters, em. hoogleraar klassieke archeologie aan de Katholieke Universiteit van Nijmegen en door mevrouw Drs. M. J. Th. Peters-Moermann, classica. 14 - 21 oktober. f 2.465,-

## Najaarsreis Cyprus

Begeleid door drs. Stella Lubsen-Admiraal, archeologe, schrijfster van de reisgids Cyprus. 15 - 29 okt. / f 2.695,-

## Tanzania

Begeleid door Dr. Titia Brantsma-van Wulfften Palté, ethologe 31 januari - 23 februari 1990 (incl. verlenging) Viv van der Krieken, educatieve dienst WNF, Vlaanderen 20 februari - 16 maart 1990 (incl. verlenging)  
Reissom: ± f 7.985,- (excl. verlenging)

**STICHTING  
avicula**

ter bevordering van

**NATUUR  
CULTUUR  
REIZEN**

Wilt U nadere informatie over deze reizen, bel onderstaand telefoonnummer, of zendt een brief in een ongefrankeerde envelop naar:

**Holland Travel Service**  
Antwoordnummer 10267  
2270 WB VOORBURG

Tel. inlichtingen: R.J.E. Schaab  
Telefoon: 070-871020  
Oosteinde 208  
2272 AH Voorburg

# NATUUR '89 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 10,00 of 200 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



## Bij de omslag

Veel stofwolken die in het heelal oplichten zijn het gevolg van supernova's, de explosies die het eind van het leven van sterren markeren. Volgens Hoyle en Wickramasinghe (pag. 446) zijn ijzerdeeltjes die daarbij vrijkomen de bron van de kosmische achtergrondstraling. Volgens anderen komt deze straling van de oerknal.

(Foto: Science Photo Library)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschueren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Olle Juninck.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel. 04759-1305.

Redactiemedewerkers: M.W.M. aan de Brugh, A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems, Drs G.P.Th. Kloeg.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-81223\*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044.\*

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

**EURO**  
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van



ISSN 0028-1093

Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

# INHOUD

ACTUEEL	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL Taaie theorieën	421

## BIJEGIF

Het venijn in de staart

**R.C. Hider**

Wie door een bij wordt gestoken krijgt een mengsel gifstoffen binnen. Die vergiften bestaan voornamelijk uit kleine proteïnen en peptiden. Sommige daarvan vertonen een grote affiniteit tot specifieke membraanreceptoren en zijn behalve als effectieve verdedigingsstof voor de bijen ook van groot belang voor farmacologen. Aangezien de meeste natuurlijke vijanden van een bijenvolk ongewervelde dieren zijn, zijn sommige in bijegif voorkomende stoffen waarschijnlijk bedoeld als een natuurlijk 'insecticide'.



## HOOGVERMOGEN GASLASERS

434

**J.W. Gerritsen, R.J.M. Bonnie en M. Hartemink**

In 1960 slaagde de Amerikaan Maiman er als eerste in laserlicht op te wekken. Sindsdien heeft de laser een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. Al gauw bleek dat laserwerking in veel verschillende stoffen mogelijk is. Het aantal toepassingen dat ontwikkeld is, is enorm groot. De laser wordt gebruikt als wetenschappelijk instrument, in de techniek, maar ook in huis, bijvoorbeeld in de compact-discspeler. Dit artikel is toegespitst op een bijzonder type, de hoogvermogen gaslaser, die vooral in de industrie en in de geneeskunde wordt toegepast.



## BIG BANG OF STEADY STATE

446

**F. Hoyle en C. Wickramasinghe**

Is het heelal ontstaan in één grote klap, de oerknal die zo'n 15 miljard jaar geleden plaatsvond, of is het er altijd al geweest zoals het nu is? Onder sterrenkundigen vindt de oerknaltheorie de meeste aanhangers en zij lijken ook de beste papieren te hebben. De uitlegging van het heelal en het bestaan van de kosmische achtergrondstraling zijn hun sterkste troeven. Niettemin is een aantal astronomen er niet van overtuigd dat deze verschijnselen terug te voeren zijn op de oerknal. Zij hebben andere verklaringen voor de kosmische achtergrondstraling.



# NATUUR '89 & TECHNIEK

juni/ 57<sup>e</sup> jaargang/1989



## CHEMISCHE REACTOREN

Van kookpot tot fabriek

D. Thoenes

De moderne mens gebruikt duizenden produkten die langs chemische weg zijn gemaakt: geneesmiddelen, autolakken, kunstvezels, motorbenzines enzovoort. Deze produkten worden soms gemaakt in fabrieksinstallaties die zo klein zijn dat ze in een woonkamer zouden passen, soms in installaties die de grootte van een woonwijk hebben. Het hart van elke chemische fabriek is de reactor. Er bestaat een grote verscheidenheid aan reactoren en een nog grotere aan de chemische reacties die daarin plaatsvinden. Toch bestaan er enkele basisprincipes.

458



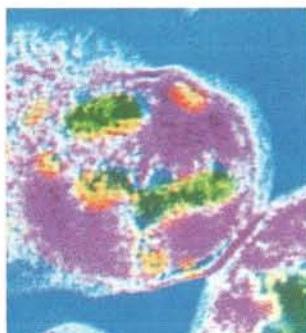
## MENSEN AAN DE MAAS

De kampementen van de oudste Nederlanders

W. Roebroeks

Wie waren de eerste bewoners van de lage landen en wanneer en hoe leefden zij? Een voorlopig antwoord op deze vragen is het resultaat van opgravingen in een löss- en grindgroeve even buiten Maastricht. Daar zijn de restanten gevonden van kleine kampementen waar jagers/verzamelaars zo'n kwart miljoen jaar geleden leefden. De gezamenlijke inspanningen van archeologen, geologen, paleontologen en dateringsspecialisten, alsmede van een groot aantal vrijwilligers bieden enig inzicht in het doen en laten van deze mensen.

470



## BONDGENOTEN

De bacteriën van het darmkanaal

D. van der Waaij

Bacteriën worden meestal in verband gebracht met infecties en ziekten. Toch zijn er maar weinig bacteriesoorten ziekteverwekkend. Voor de meeste hoeven we niet bang te zijn, integendeel, veel bacteriesoorten hebben we zelfs nodig om gezond te blijven. Een belangrijke groep daarvan vormen de bacteriën die zich in ons spijsverteringskanaal genesteld hebben. Bij de geboorte begint zich daar een darmflora te ontwikkelen. Tussen deze flora en de mens ontstaat een intensieve samenwerking die zeer belangrijk is voor onze gezondheid.

482

## ANALYSE EN KATALYSE

Het ABC van de CFK's/Oefenen met een kernramp

494

## BEZIENSWAARDIG/BOEKEN/PRIJSVRAAG

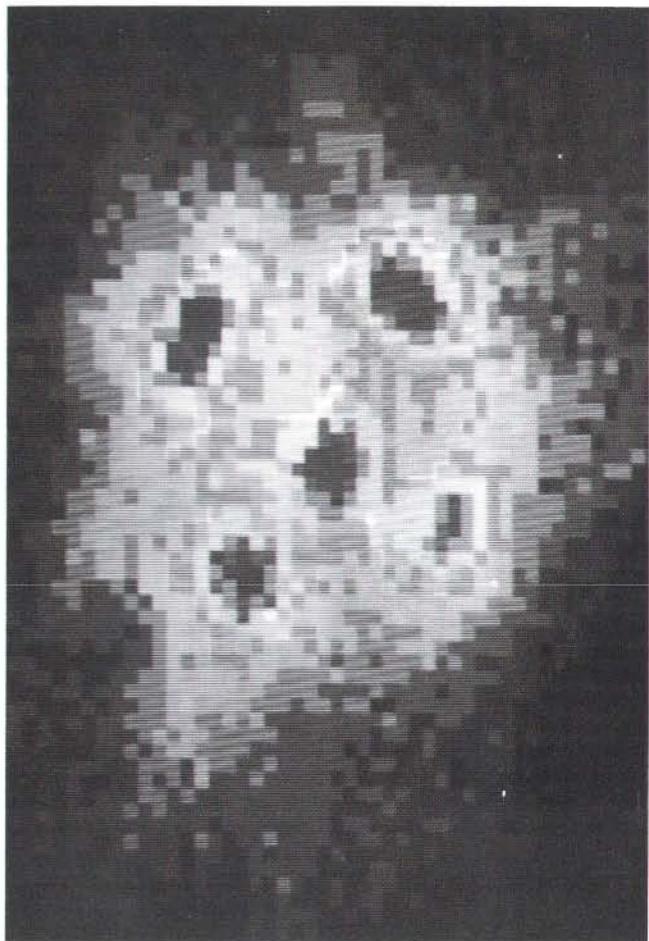
505

# ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving  
natuur en techniek

## Laserstralen bevriezen atomen

Onderzoekers van het Max-Planck-Instituut voor Quantum-optica in Garching bei München hebben magnesiumionen met laserlicht zo ver afgekoeld dat ze kristalliseerden. Niet alleen bestudering van fenomenen nabij het absolute nulpunt, maar ook de ontwikkeling van een zeer precieze laser, zijn de doelen van dit onderzoek. Ionen kunnen onder andere door elektromagnetische straling van lasers in een aangeslagen toestand raken. Bij het terugkeren naar de grondtoestand zendt een terugvallend elektron een lichtquant uit, waarvan de golflengte, en dus de frequentie, een karakteristieke waarde heeft. Bestralen met laserlicht behelst altijd het toevieren van energie. Hoe we op die manier ook kunnen koelen, bespreken we na de experimentele opstelling te hebben beschreven. De onderzoekers van het Max-Planck-Instituut voor Quantumoptica bereikten de beste resultaten door de ionen in een 'val' op te sluiten. Deze bestond uit een ring met daarboven en -onder twee elektroden. Vóór een deeltje de val binnentreedt wordt het ontdaan van een elektron. Het binnengekomen ion wordt door bijvoorbeeld de bovenste negatieve elektrode aange trokken. Door deze snel om te polen wordt het deeltje door de bovenste afgestoten en door de onderste aange trokken. Een juiste keuze van de oplaagfrequentie houdt de ionen daarna gevangen. Dit elektrische opsluitingsveld is zo klein dat het het ion niet verstoort.



Bestraling met laserlicht van de juiste frequentie brengt de ionen in een aangeslagen toestand. De resonantiefluorescentie van de terugval naar de grondtoestand is met een lichtmicroscoop met beeldversterking op een beeldscherm zichtbaar te maken. Omdat de ionen thermische beweging vertonen is het beeld onscherp. Door nu de frequentie van het

Vijf magnesiumionen in de 'val'. Vier ionen vormen de basis van de vierzijdige piramide, terwijl er één in de top zit, in het midden op de foto. (Foto: MPG).

laserlicht net iets lager dan de ionen-resonantiefrequentie te kiezen, kan een aangeslagen toestand alleen ontstaan, wanneer het ion zich naar de straal toe beweegt. Ten gevolge van het Doppler-effect 'ziet' het ion een hogere frequentie en neemt een lichtquant op. Het gebruikt daarbij eigen bewegingsenergie om in de aangeslagen toestand te komen. Het ion remt dus af en koelt ook af. Je kunt het koelen met laserlicht ook zo uitleggen dat de laserstraal net iets te weinig energie heeft en het ion hetgeen hij tekort komt uit zijn eigen bewegingsenergie haalt en dus afremt.

Er ontstaan daardoor aangeslagen ionen bij enkele duizenden graad boven het absolute nulpunt, die fluoresceren. Het bijzondere daarbij is dat de ionen zich in een soort kristalstructuur ordenen, in de vorm van een piramide, maar ongeveer 10 000x verder van elkaar dan in een echt kristalrooster.

Dergelijke structuren maken onderzoek mogelijk naar de aard van de materie. Een opmerkelijk fenomeen deed zich bijvoorbeeld voor toen een enkel ion uit het 'rooster' werd weggenomen waarna het helemaal uit elkaar viel. Van normale roosters kun je gewoon een stukje 'afknabbelen' door het te verhitten.

Een ander onderzoek richt zich op ionen met twee aangeslagen niveau's. Met de eerste laserstraal breng je een elektron in de korte-duur baan, waaruit het snel weer terugvalt naar de grondtoestand. Door precies op dat moment een tweede straal met bepaalde frequentie, die er voor zorgt dat overgang naar het lange-duur niveau mogelijk is, toe te dienen zal er geen fluorescentie optreden. Maar dan moet de frequentie van die laserstraal een nauwkeurigheid van  $10^{-18}$  hebben (ofwel één seconde in de 30 miljard jaar). Mocht er zo'n laser ontwikkeld worden, dan kunnen de cesium-atoomklokken gelijk bij de vuilnisbak en is de huidige meest

precieze methode van tijdmeting – volgens het Mössbauer-effect – op slag verouderd. De precisie van  $10^{-18}$  houdt in dat wanneer zo'n laser bij de oerknal vorhanden was geweest, nu maar op z'n hoogst een halve seconde tijdsafwijking geconstateerd zou zijn. Als kandidaat voor een ion waarin het effect mogelijk is, komt indium naar voren. Als het systeem werkt wil men gelijk beginnen met de precieze meting van de zwaar-

tekracht, die Albert Einstein ruim 70 jaar geleden al postuleerde, en ook met het aantonen van zwaartekrachtgolven met behulp van een laserinterferentiometer op aarde. Volgens prof Herbert Walter van de afdeling laserfysica op het al genoemde instituut is de ontwikkeling van de benodigde laser nog maar een kwestie van jaren.

Jacques Verduijn

## Langs welke weg?

Ten onrechte is er altijd van uitgegaan dat een reiziger bij zijn routekeuze alleen let op reistijd en afstand. Het blijkt dat een reiziger eerder kiest voor een route door een aantrekkelijke omgeving, zelfs als de route door een lelijke omgeving korter is. Verder wekt een afwisselende route bij reizigers de indruk korter te zijn. Het onderzoeksinstuut voor Stedebouw, Planologie & Architectuur (OSPA) van de Technische Universiteit Delft komt tot deze conclusie op basis van een aantal onderzoeken. Medewerkers van het OSPA vroegen 350 universiteitsmedewerkers die in Gouda wonen naar hun reisgedrag. Er zijn 15 alternatieven om van Gouda naar Delft te reizen. De deelnemers aan het onderzoek kenden er gemiddeld slechts vijf. Rechte wegen door polders vinden ze al snel te lang en ook mijden ze een lelijke omgeving op weg naar hun werkplek.

Uit ander onderzoek kwam naar voren dat fietsers vooral kiezen voor de veiligheid van de route. Minder dan automobilisten zijn zij overigens bereid een omweg te maken. De keuze van voetgangers voor een looproute in de stad wordt sterk bepaald door ruimtelijke kenmerken.

De gebouwde omgeving blijkt een sterke invloed te hebben op de

oriëntatie van mensen. Er zijn steden en wijken waar mensen bijna altijd de weg kwijtraken. Vaak komt dat door lange rijen flats die er allemaal hetzelfde uitzien. Zijn er echter ook hoge markante gebouwen of bijvoorbeeld een reeks mooie huizen, dan weet men meestal wel waar men zich bevindt. De onderzoekers vinden dergelijke uitkomsten van groot belang voor stedebouwkundige planners. Woonwijken zouden zodanig kunnen worden gebouwd, dat het verkeer als het ware wordt geleid door de plaatsing en vormgeving van de gebouwen.

Met onderzoek naar het routekeuzegedrag wil het OSPA in kaart brengen hoe de gebouwde omgeving invloed uitoefent op de routekeuze. Computermodellen zijn afhankelijk van het kwantificeren van zulke gegevens. Zijn die eenmaal verwerkt, dan kunnen routekeuzes worden voorspeld. Dat is weer van belang voor het plannen van de aanleg van nieuwe autowegen, oeververbindingen en fietsroutes. De Delftse onderzoekers hopen zo een bijdrage te kunnen leveren aan de oplossing van de vele verkeersopstoppen in Nederland.

(Persbericht TU Delft)

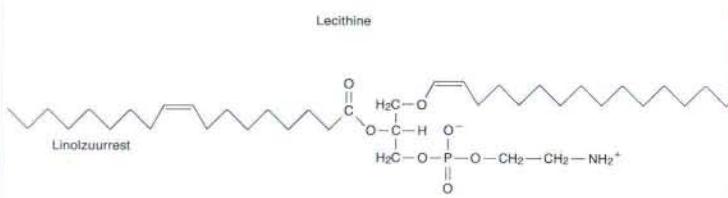
## Lecithine verlaagt cholesterolspiegel niet

Het gebruik van lecithinepreparaten met de bedoeling het cholesterolgehalte in het bloed extra te verlagen is overdreven duur. Lecithine wordt echter op grote schaal voor dit doel gebruikt. Voorzover lecithine cholesterolverlaging veroorzaakt, komt dat door het linolzuur dat erin zit. Consumptie van linolzuur in de vorm van bijvoorbeeld soja- of zonnebloemolie is even effectief en stukken goedkoper. Dit blijkt uit een vergelijkende studie van onderzoekers van de Landbouwuniversiteit, die hun bevindingen zojuist gepubliceerd hebben in het wetenschappelijk tijdschrift 'American Journal of Clinical Nutrition'.

De onderzoekers Knuiman, Beynen en Katan hebben 24 eerder gepubliceerde studies naar het cholesterolverlagende effect van lecithine tegen het licht gehouden en concluderen dat op grond hiervan aan lecithine geen specifiek effect op de cholesterolspiegel in het bloed mag worden toegeschreven.

Lecithine is een zogeheten fosfolipide, waarin ook het onverzadigde vetzuur linolzuur is gebonden. De meeste onderzoekers hebben verzuimd om in hun proefnemingen een controlegroep of controleperiode op te nemen, waarin de proefpersonen placebo's kregen met evenveel onverzadigd vetzuur als in de lecithinepreparaten voorkomen. Zonder die controle meet men in feite het effect van linolzuur en zegt de uitkomst niets over een eventuele bijzondere werking van lecithine.

Uit de vergelijkbare studie van de Wageningse voedingskundigen blijkt dat in feite slechts vier van de genoemde 24 onderzoeken voldoen aan de methodische aanpak met controlevaarnemingen. En van die vier correcte studies geeft slechts één op een cholesterolver-



De structuur van lecithine. De ruggraat is het glycerinemolekuul met drie koolstofatomen. Daaraan zijn twee vetzuren veresterd. Aan de on-

derste hydroxylgroep van glycerine is een fosfaatgroep gebonden waaraan choline is gekoppeld.

laging te hebben gevonden; de andere vinden een verhoging of wel geen meetbaar effect.

Bij de niet correct uitgevoerde onderzoeken, die duidelijke cholesterolverlagende effecten van lecithine aantonen – in enkele gevallen zeer spectaculaire verlagingen – zijn er volgens de onderzoekers van de Landbouwuniversiteit een paar waarin op meer dan één punt tegen de normen van de wetenschappelijke methode is gezondigd. In twee publikaties werden zelfs proefpersonen of meetpunten uit de verwerking van de resultaten weggelaten om geen andere reden, zo moeten de Wageningers concluderen, dan dat ze geen cholesterolverlagende invloed lieten zien.

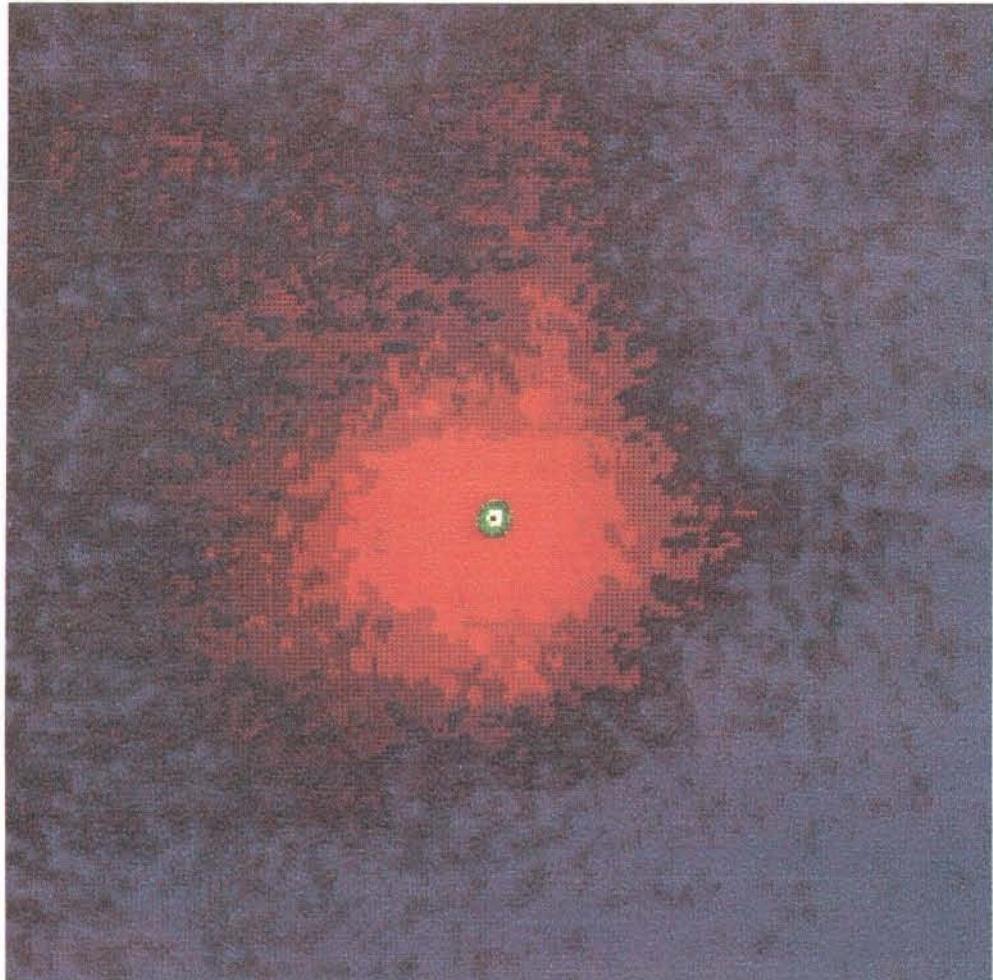
De evaluërende voedingskundigen besluiten derhalve dat lecithine geen verlagende werking op cholesterolconcentraties in het bloed heeft die verder gaan dan het voor de hand liggende effect ten gevolge van het in lecithine al aanwezige linolzuur. Deze werking kan ook bereikt worden met onverzadigde vetzuren uit diverse bekende plantaardige oliën, tegen een fractie van de prijs.

(Persbericht Landbouwuniversiteit Wageningen)

## Pijnlijn

De Pijnlijn is een telefonische vraagbank die antwoorden wil geven op vragen over pijn en pijnbehandeling. Het openstellen van de Pijnlijn is een initiatief van de Bayer Nederland, de producent van Aspirine. De kennis die het bedrijf in de loop der jaren over pijn en het gebruik van vrij verkrijgbare pijnstillers heeft opgebouwd is met de Pijnlijn toegankelijk geworden voor een ieder die algemene vragen op dit gebied heeft. De medewerkers van de Pijnlijn zitten niet op de stoel van de huisarts. Zijn er specifieke vragen dan zullen ze naar de huisarts verwijzen.

Via de Pijnlijn is een gratis brochure met de titel 'Pijn. Wat u moet weten over pijnstillers' verkrijgbaar. De brochure geeft informatie over bijvoorbeeld het ontstaan en de beleving van pijn en over de meest voorkomende soorten pijn. In de brochure komt aan de orde welke soorten pijnstillers voor welke klachten zijn en hoe pijnstillers moeten worden gebruikt. Het nummer van de Pijnlijn is 070-633994.



## Halley nog te zien

Komeet Halley, waarvan de passage in 1986 'live' op televisie was dank zij de nabijheid van de Europese ruimtesonde Giotto, vliegt al weer ruim twee jaar van de zon vandaan. De komeet is vanaf aarde echter nog steeds zichtbaar. Astronomen volgen Halley nog, omdat ze zijn geïnteresseerd in vorm, grootte en dus de dynamiek van de stofwolk rond de komeet. Met de Deense 1,5 m telescoop op de Europese

Zuidelijke Sterrenwacht op La Silla in Chili maakte men gedurende vijf nachten in januari de hier afgebeelde opname. Halley bevond zich toen op 1517 miljoen kilometer afstand van de aarde, al buiten de baan van Saturnus. De wolk rond de komeet heeft nu een middellijn van 550000 km. Die wolk bestaat voornamelijk uit waterdamp en stof. De waterdamp is afkomstig van ijs in de kern van de komeet. Bij het subli-

meren sput de damp naar buiten door scheuren in de stoflaag rond de kern. De ruimtesonde Giotto komt in de loop van volgend jaar weer in een baan om de aarde. Wellicht is het instrument bruikbaar voor een missie naar een andere komeet.

*(Persbericht en foto van ESO)*

# Biomaatschappij

Manipuleren, ook met het leven, is karakteristiek voor de mens. Dit schrijft Prins Claus in het voorwoord tot dit cahier. De consequenties van de manipulaties die bij de huidige stand van de wetenschap mogelijk zijn, vragen echter ernstige overdenking. Wat willen we met onze technische mogelijkheden eigenlijk bereiken? Creëren we daarmee een betere wereld?

## Een greep uit de inhoud:

### Voorwoord

Z.K.H. Prins Claus

### Manipuleren van micro-organismen en planten

N.W.F. Kossen

### Genetische manipulatie in de veehouderij

A.J.H. van Es

### De nieuwe biologie en de geneeskunde

P. van Duijn

### Ingrijpen in de voortplanting van de mens

E.V. van Hall

### Manipuleren van het milieu

A.J. Wiggers

### Een biorevolutie?

J.J. van Duijn



## CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Het cahier BIOMAATSCHAPPIJ kan worden besteld bij Natuur & Techniek – Informatiecentrum – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044 (vanuit België: 00-3143254044). Het kost f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

## AUTEURS

**Prof dr R.C. Hider** ('Bijegif') is geboren in 1943 en studeerde scheikunde aan King's College in Londen. Na zijn afstuderen in 1967 werkte hij in het Londense St. Thomas ziekenhuis, Essex University en King's College, waar hij momenteel hoogleraar medische chemie is.

**Ir. J.W. Gerritsen** ('Lasers') is sinds 1985 als promovendus verbonden aan de Faculteit der Technische Natuurkunde van de Universiteit Twente, waar hij onderzoek doet aan gasontladings-excimeerlasers. Hij is geboren op 18 november 1960 en studeerde technische natuurkunde in Twente.

**Dr R.J.M. Bonnie** ('Lasers') is op 29 juli 1960 geboren. Hij studeerde experimentele natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam en verrichtte vervolgens een promotie-onderzoek aan de Universiteit Twente, dat hij in februari van dit jaar afrondde. Sindsdien werkt hij bij het Shell-laboratorium in Rijswijk.

**Drs M. Hartemink** ('Lasers') studeerde natuurkunde aan de Rijksuniversiteit in Leiden en aan de universiteit van Reading in Engeland. Als werknaam van de UCN verricht hij onderzoek aan CO<sub>2</sub>-gepompte gaslasers. Dit onderzoek vindt plaats aan de Universiteit Twente.

**Prof dr sir Fred Hoyle** ('Steady state') is in 1915 geboren, was hoogleraar wiskunde en directeur van het instituut voor theoretische astronomie aan de University of Cambridge. Hij is geestelijke vader van de kosmologische steady-state-theorie en verrichtte onderzoek naar het ontstaan van de elementen.

**Prof dr C. Wickramasinghe** ('Steady state') is hoogleraar toegepaste wiskunde en theoretische natuurkunde aan de universiteit van Cardiff. Hij is in 1939 geboren en promoveerde in 1963 op een astrofysisch onderzoek bij Hoyle in Cambridge.

**Prof dr ir D. Thoenes** ('Reactoren') is in 1930 geboren in Soenei Gerong. Hij studeerde scheikundige technologie aan de TH in Delft, waar hij ook promoveerde, in 1957. Vervolgens werkte hij bij de Staatsmijnen. Sinds 1979 is hij hoogleraar fysische technologie aan de TU in Eindhoven. Hij is erelid van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging.

**Dr W. Roebroeks** ('Mensen aan de Maas') is geboren in Sint Geertruid op 5 mei 1955. Hij studeerde geschiedenis in Nijmegen en prehistorie in Leiden. Sinds 1983 is hij universitair docent bij het Instituut voor Prehistorie van de Leidse universiteit. Hij promoveerde in het begin van dit jaar.

**Prof dr D. van der Waaij** ('Bondgenoten') is hoogleraar medische microbiologie aan de Rijksuniversiteit te Groningen. Geboren te Semarang op 8 februari 1931, studeerde hij geneeskunde in Leiden, waar hij in 1959 promoveerde. Voor zijn hoogleraarsbenoeming was hij onder meer verbonden aan het Radiologische Instituut van TNO in Rijswijk.

## Taaie theorieën

Theorieën zijn taaai. En dan niet in de betekenis die sommige studenten aan het begrip taaie theorie toekennen: langdradig en moeilijk te verteren, maar in de zin dat een goede theorie niet zo maar onder het eerste het beste tegenargument bezwijkt. Het is beslist niet zo dat de hele wetenschappelijke wereld de vlag uitsteekt bij een doorbraak die een bestaande theorie omver lijkt te werpen.

Het mag dan zo zijn dat elke rechtgearde onderzoeker de bestaande theorieën kritisch benadert en zijn experimenten zo inricht (of in elke geval zegt zo in te richten) dat ze gericht zijn op falsificatie van een theorie, zodra er echt een bedreiging voor de theorie ontstaat wordt eerst alles in het werk gesteld om fouten in het experiment op te sporen, en als dat niet mocht lukken gaat er beslist een heel leger betrokken aan het werk om te bezien of de op het eerste gezicht strijdige uitkomst niet toch nog met de bestaande theorie in overeenkomst te brengen is. Als de uitkomst van het experiment niet kan worden betwist is het vaak mogelijk de interpretatie ervan te bestrijden. Als ook dat niet kan, wordt vaak een beroep gedaan op hulphyposities, die of het werkgebied van de theorie inperken, of de theorie zelf, met behoud van de harde kern, wat uitbreiden zodat de nieuwe experimentele uitkomsten er alsnog in passen.

Thomas Kuhn heeft dat – allerminst taaai in de betekenis van saai – beschreven voor de ontdekkingen van Copernicus, in zijn boek *The Copernican Revolution*. De steeds betere waarnemingen van bewegingen van hemellichamen maakten het noodzakelijk de geocentrische theorie steeds ingewikkelder te maken; er moesten steeds meer 'epicykels' worden gebruikt om die bewegingen nog te laten passen in het model waarin de aarde het centrum van het heelal was. Dat leidde tot onvrede met die theorie, maar nog niet tot verwerping: Copernicus' denkbeelden werden bepaald niet met gejuich ontvangen. Integendeel, de epicykels werden opnieuw opgelapt tot ze een weliswaar uiterst ingewikkelde (en daarmee strijdig met Ockams al drie eeuwen eerder gepubliceerde opvatting dat de simpelste theorie de beste is), maar wel preciezere beschrijving van de bewegingen gaven dan Copernicus kon leveren.

Deze 'starre en onbuigzame opstelling' die Fred Hoyle en Chandra Wickramasinghe in hun artikel op pag. 446 hun collega-kosmologen verwijten, is in feite typisch voor de hele wetenschap. En dat is maar gelukkig ook, want als elk theoretisch bouwwerk bij het eerste stootje zou bezwijken zou het bar moeilijk zijn enigszins systematisch onderzoek te doen. Niet ten onrechte heeft Imre Lakatos een theorie beschreven als een onderzoekprogramma, als een mogelijkheid systematisch een aantal zaken te onderzoeken. Op een gegeven moment is zo'n theorie echter uitgeput, geeft ze geen mogelijkheden meer om nog echt verder te komen, en moeten er de meest onwaarschijnlijke zaken worden bijgeslept. Het is dan ook niet zo gek dat Hoyle c.s. hun opvattingen over een stabiel heelal op allerlei manieren blijven verdedigen tegenover de aanhangers van een uitdijend heelal. Ook al menen laatstgenoemden – en zij vormen de overgrote meerderheid van de sterrenkundigen – dat die theorie de fase van minimale productiviteit al geruime tijd heeft bereikt.



# **Het venijn in de staart**

**EURO**  
ARTIKEL



Robert C. Hider  
King's College  
Londen

# Bijegif

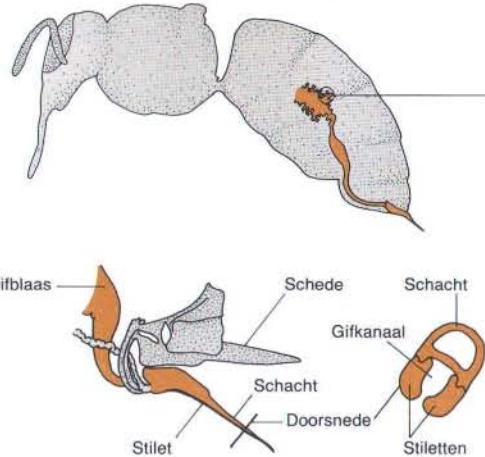
Wie door een bij wordt gestoken krijgt een mengsel gifstoffen binnen. De gifstoffen bestaan voornamelijk uit kleine proteïnen en peptiden. Sommige daarvan vertonen een grote affiniteit tot specifieke membraanreceptoren en zijn daarom behalve als effectieve verdedigingsstof voor bijen ook van groot belang voor farmacologen. Aangezien de meeste vijanden van een bijenvolk ongewervelde dieren zijn, zijn sommige van de in bijegif voorkomende toxinen waarschijnlijk bedoeld als een natuurlijk insecticide.

Honingbijen (soorten van het geslacht *Apis*) zijn statenvormende insecten die in goed georganiseerde kolonies van zo'n 20 000 tot 100 000 individuen leven. De bijen verzamelen stuifmeel en nectar uit bloemen en bestuiven daarmee tegelijkertijd die bloemen. In de loop van de evolutie is er een zeer nauwe relatie ontstaan tussen bloemen en honingbijen. Bijen zetten de nectar om in lang houdbare honing. Het stuifmeel voeren ze aan hun larven.

Bijen worden overal op de wereld gehouden, omdat ze in winbare hoeveelheden honing opslaan. Gezamenlijk produceren ze zo'n 800 000 ton honing per jaar. Wonderlijk genoeg is *bijenwas* duurder dan honing: de was brengt ongeveer f 4,20 per kilo op, een kilo honing f 3,30 of 60 F. De geïndustrialiseerde landen importeren jaarlijks meer dan 500 ton was, die wordt gebruikt voor de bereiding van cosmetica, farmaceutische produkten, kaarsen en poetsmiddelen. Er bestaat een toenemende vraag naar nog een ander uit bijenkorven afkomstig produkt: *propolis*, of *bijenlijm*. Dit is een kleverige hars die de bijen op bepaalde planten verzamelen. De bijen zelf gebruiken het als lijm en als afdichtmateriaal om scheuren in de randen van raten te vullen, om de korf waterdicht te maken, maar ook om de lijken van binnengedrongen vijanden te mumificeren. Al meer dan duizend jaar beweren natuurgenezers dat propolis infecties en ontstekingen remt.

Onlangs heeft men enkele van de voornaamste bestanddelen van propolis kunnen isoleren. Eén daarvan, een derivaat van kaneelzuur, heeft een krachtige antivirale werking. De prijs van propolis stijgt snel en momenteel brengt het bewerkte produkt f 495,- of 9000 F per kilo op, meer dan honderd maal die van honing.

Het kostbaarste produkt dat de honingbij levert is echter het *bijegif*, dat, afhankelijk van de zuiverheid van het preparaat, meer dan f 175,- of 3150 F per gram kost (50 000 maal de prijs van honing). Men schrijft aan het bijegif een geneeskrachtige werking toe, in het bijzonder zou het helpen tegen reumatische aandoeningen en andere gewrichtsontstekingen. In bepaalde delen van de wereld, met name in Oost-Europa, is de zogenaamde *apitherapie* heel gewoon, waarbij men de patiënten door bijen laat steken. Momenteel wordt er onderzoek gedaan naar de farmacologisch actieve bestanddelen in het bijegif.



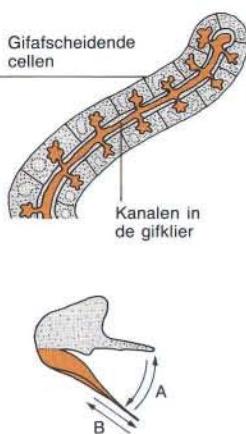
1

### De angel

Het gifapparaat van de honingbij dient, zoals dat bij veel andere statenvormende insecten het geval is, in de eerste plaats voor de verdediging van de kolonie. De meeste kans om gestoken te worden loopt men dan ook in de buurt van korf of nest.

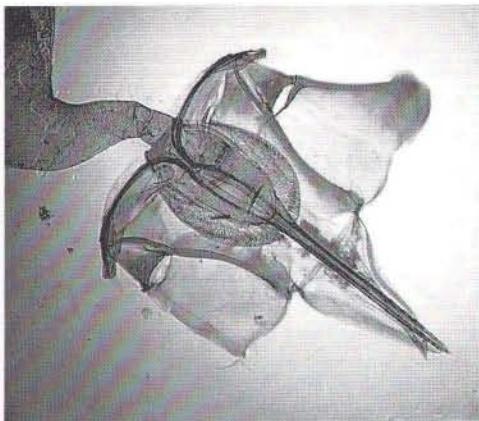
De voornaamste natuurlijke vijanden van de bij zijn op honing beluste zoogdieren en ongewervelden, voornamelijk vriesvleugeligen en vlinners. Eén steek levert een kleine hoeveelheid gif, die bij gewervelde dieren het effect heeft van een pijnlijke waarschuwing, maar op talrijke ongewervelden een dodelijke uitwerking heeft. Hoewel een bijestek geen prettige gewaarwording is, treden bij niet-allergische mensen geen complicaties op, zelfs niet als tien tot twintig bijen tegelijk toeslaan.

De angel van een bij bestaat uit een van weerhaakjes voorziene, holle, naaldvormige schacht, die zich in een schede aan het achterlijf bevindt (afb. 1). De lange schacht wordt met spieren uit de schede bewogen (afb. 1 en 2). De schacht bestaat uit vier taps toelopende segmenten die eindigen in een scherpe holle punt. De bij injecteert het gif via het centrale gifkanaal van de schacht. Langs de schacht liggen twee scherpe stiletten die bij het steken heen en weer bewegen en zo al snijdend ruimte voor de schacht creëren. Weerhaakjes aan de onderkant van de stiletten verhinderen het teruglijden uit de wond, waardoor de schacht dieper doordringt. Gewoonlijk wordt de schacht tot de helft ingebracht. Tegelijkertijd



1. Het steekapparaat van een werkster van *Apis mellifera*.

2. Een angel van een bij. Duidelijk is hier de schacht zichtbaar waar het gifkaal doorheen loopt.



2

pompt de bij door het bewegen van de stiletten het gif uit een gifblaas door het gifkanaal in het slachtoffer. Het gif wordt gemaakt in een tot een compacte kluwen ineengerolde, vertakte klier. Zij bestaat uit cellen die hun inhoud afscheiden in talrijke kleine kanaaltjes die uitmonden in een centraal kanaal, dat op zijn beurt naar de gifblaas leidt. De wand van de gifblaas is dik, gelaagd en voorzien van een opperhuid.

Dikwijls worden tijdens een steek angel en gifblaas uit het bijenlijf getrokken. Hoewel de bij aan deze verwonding zal overlijden, is de steek wel effectief. Steekt de bij andere insecten, dan kan zij de angel dikwijls terugtrekken uit het slachtoffer en is de steek voor haarzelf niet dodelijk. Aangezien de angel een omgevormde legboor is, kunnen alleen vrouwelijke bijen, de werksters en de koningin, steken.

### Het gif

De gifklieren beginnen te functioneren korte tijd nadat de jonge bij uit de pop tevoorschijn is gekomen en na twee tot drie weken bereiken ze hun maximale produktie. De samenstelling van het gif van de werkster verandert in de loop van de tijd: dit heeft waarschijnlijk te maken met de bevordering van 'huisbij' tot 'veldbij'. De hoeveelheid gif van werksters blijkt in de zomermaanden het hoogst te zijn, als de activiteit in en rond de korf het grootst is en de jonge bijen als wachters voor de korf fungeren. Bij de koninginnen ligt de situatie anders; bij hen is de gifproductie het hoogst

als ze uit de pop komen. Dat is nodig want ze gebruiken het gif in gevechten met andere, tegelijkertijd uitgekomen koninginnen.

De hoeveelheid gif die in bij ons voorkomende werksterbijen aanwezig is, schat men op 3 à 4 µl. Het is moeilijk om uit één exemplaar alle gif te extraheren en doorgaans slaagt men er in om 0,5 µl tot 1,0 µl van het gif in handen te krijgen. Bijegif bestaat voor 88% uit water en daardoor kan men slechts 0,05 mg droge stof uit het gif van één bij isoleren. Er zijn dus 5 000 bijnangels nodig om één gram droog gif te produceren.

Om bijegif in zuivere vorm te verkrijgen maakte men vroeger gebruik van één van de twee volgende technieken: ontleden van het complete gifapparaat, of druk uitoefenen op het achterlijf, waardoor er aan het uiteinde van de angel een druppeltje gif verschijnt. Tegenwoordig wint men het gif efficiënter door elektrisch 'melken'. Vers afgescheiden gif is een heldere, kleurloze vloeistof. Na droging resteert een lichtgeel poeder. Al sinds de negentiende eeuw zijn onderzoekers geïnteresseerd in de samenstelling van bijegif, maar pas in 1952 kon men de giftige werking toeschrijven aan bepaalde proteïnen. Dat was mogelijk omdat vlak voor dat tijdstip de techniek van de proteïnezuivering ingrijpend was verfijnd. Sindsdien zijn we ook veel meer te weten gekomen over de proteïnen in het bijegif. Er zijn nu verschillende molekülen bekend, die met behulp van chromatografische technieken van elkaar konden worden gescheiden. Hierna worden ze, groepsgewijs, besproken.

**Proteïnen**

De verbindingen in het bijegif met een hoog molekuulgewicht zijn de proteïnen *hyaluronidase* en *fosfolipase*. Ze kunnen een sterke afweerreactie oproepen. Waarschijnlijk zijn deze proteïnen dan ook verantwoordelijk voor de allergische reactie die sommige mensen na een bijestek vertonen. Bijenhouders (*imkers*) zijn meestal immuun tegen bijesteken. Waarschijnlijk komt dat omdat in het bloed van de imkers antistoffen tegen hyaluronidase aanwezig zijn, waardoor dit proteïne wordt geïnactiveerd.

Mensen die op bijegif een allergische reactie vertonen kunnen daar ernstig ziek van worden. Aanvankelijk breidt de plaatselijke zwelling zich steeds verder uit en iedere volgende steek veroorzaakt een steeds heviger reactie, die tenslotte gepaard gaat met misselijkheid, huiduitslag en ademhalingsmoeilijkheden. Bij sommige mensen zijn na een eerste steek zo veel antistoffen aangemaakt dat na nog een steek een zeer heftige reactie optreedt, die zelfs dodelijk kan zijn. Mensen die zo'n tweede keer overleven dragen daarna altijd een tegengif bij zich, dat ze zich na een bijestek snel toedienen. Soms weet men patiënten minder gevoelig te maken door ze herhaaldelijk met zeer kleine hoeveelheden bijegif in te spuiten; hun immuunsysteem 'went' dan aan het gif.

Hyaluronidase is een enzym dat het visceuze polymeer hyaluronzuur afbreekt tot niet-visceuze brokstukken. Hyaluronzuur is één van de steunverlenende polymeren in bindweefsel en bestaat uit aan elkaar gekoppelde disachariden. Wanneer hyaluronidase het hyaluronzuur afbreekt, lost het bindweefsel ter plaatse op. Er ontstaan dan met vocht gevulde ruimten tussen de cellen, waardoor de andere componenten uit het bijegif gemakkelijker bij de cellen kunnen komen. Om die reden wordt hyaluronidase een *verspreidingsfactor* genoemd.

Het andere belangrijke proteïne in bijegif, fosfolipase A<sub>2</sub> breekt de voornaamste bouwstenen van alle biologische membranen, de *fosfolipiden*, af. Het enzym knipt één vetzuurstaart van fosfolipiden, die normaal twee van die vetzuurstaarten bezitten. Intacte fosfolipiden vormen gladde membraanoppervlakken, maar de enkelstrengige vetten groeperen tot grillige oppervlakken. Die veroorzaken lekken in het celmembraan, wat funest is voor een levende cel.

**Peptiden**

*Melittine* is een veel kleiner proteïne dat uit slechts 26 aminozuren bestaat, die op een uiterst geraffineerde manier zijn gerangschikt. Een proteïne met een zo korte aminozuurketen

3



4





5

3 en 4. Bijen houden niet van indringers omdat die het meestal op hun honingvoorraad hebben gemunt. De ingang van hun bijenkast bewaken ze dan ook voortdurend en streng (3). Een indringer, in dit geval een wesp (4), doden ze door hem te steken. Als de indringer een mens is bereiken ze het beoogde doel bijna nooit. Gespecialiseerde indringers, imkers, zijn zelfs immuun voor bijesteken.

5. Planten en bijen hebben wederzijds voordeel van elkaar aanwezigheid. Deze bij maakt dat in één oogopslag duidelijk. Zij heeft pollen verzameld die ze zolang aan haar achterpoten bewaart. Haar haren zitten onder het stuifmeel, waarmee ze tijdens bloembezoek kruisbestuiving tot stand brengt.

noemt men vaak een (*poly*)peptide. Melittine bestaat uit een  $\alpha$ -helix die in het midden scharniert, en heeft daardoor de vorm van een cilinder. De ene kant van de spiraal is hydrofiel, de andere kant is hydrofoob. In de gifblaas van de bij zitten de melittinespiralen in groepjes van vier aan elkaar gebonden, waarbij de hydrofobe oppervlakken zich van het water afkeren. Na inspuiting van het gif valt het tetrameer echter uiteen in monomeren, die een grote oppervlakte-activiteit bezitten en zich met hun hydrofobe deel als een wig in het membraanoppervlak dringen. Ook dit leidt tot lekkende cellen. Hoewel melittine en fosfolipase A<sub>2</sub> afzonderlijk al giftig zijn, is hun gezamenlijk effect nog veel krachtiger.

Naast componenten die de cel lek maken worden in bijengif nog andere giftige peptiden aangetroffen. *Apamine* is een uit 18 aminozuren bestaand peptide waarin twee stevige zwa-

TABEL 1 De voornaamste bestanddelen van bijengif

Molekuulklassen	Bestanddeel	Voorkomen (%)	Molekuulgewicht
Proteinen	Hyaluronidase	1-3	41 000
	Fosfolipase A <sub>2</sub>	10-12	20 000
Peptiden	Melittine (tetrameer)	50	12 000
	Secapine	0,5-2,0	3 000
	MCD-peptide	1-2	2 500
	Tertiapine	0,1	2 500
	Apamine	1-3	2 000
	Procamine	1-2	600
	Peptiden met <5 aminozuren	13-15	<600
Fysiologisch actieve aminen	Histamine	0,5-2,0	150
	Dopamine	0,2-1,0	150
	Noradrenaline	0,1-0,5	150
	α-Aminoboterzuur	0,5	150
Suikers	Glucose	2	180
	Fructose		
Fosfolipiden		5	700
α-Aminozuren		1	150
Feromonen		4-8	200

6



6. Fruitellers hebben graag enkele bijenvolken in hun boomgaard staan. Dat geeft de garantie dat bijna elke bloem wordt bestoven en zich in principe tot een vrucht kan ontwikkelen.

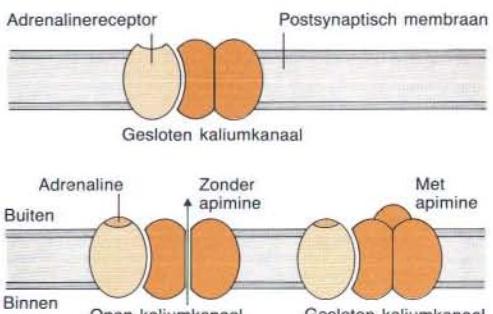
7. De structuur van melittine. Melittine komt voor als een scharnierende  $\alpha$ -helix met op het draaipunkt een proline. Alle hydrofobe resten zijn naar één zijde van het molekulaal gericht. Dit hydrofobe oppervlak past goed binnen het membraan.

8. Werkwijze van apamine. Apamine blokkeert selectief bepaalde typen ionenkanalen. Wanneer deze geblokkeerd zijn, wordt het normale effect van adrenaline, dat de kanalen moet openen, onderdrukt.

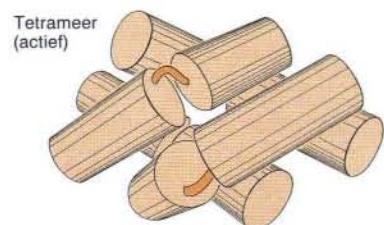
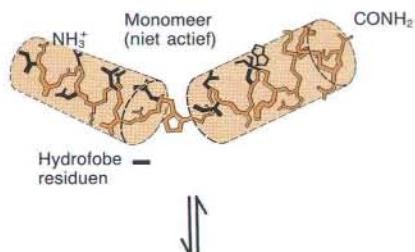
9. Structuur van apamine, waarin de lange  $\alpha$ -helix en de zwavelbruggen duidelijk te zien zijn.

10. Een celmembraan na blootstelling aan fosfolipase A<sub>2</sub>. Als gevolg van het omgebogen lipideoppervlak ontstaan er poriën in het membraan. Zulke poriën leiden tot het wegleden van belangrijke voedingsstoffen en daardoor tot het afsterven van de cel.

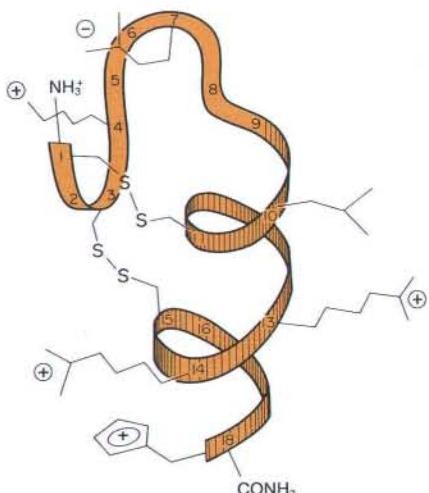
velbruggen voorkomen. Bijgevolg is het moleculaire lichaam zeer rigide. Een groot deel ervan heeft de vorm van een  $\alpha$ -helix. Apamine heeft op de meeste zoogdiercellen geen effect. Het werkt specifiek in op bepaalde postsynaptische membranen die zenuwimpulsleiding verzorgen in zowel het centrale als het perifere zenuwstelsel. Apamine is een zogenaamd *neurotoxine*. Apamine blokkeert bijvoorbeeld de werking van adrenaline bij de overdracht van zenuwimpulsen, door ionenkanalen in het zenuwcelmem-



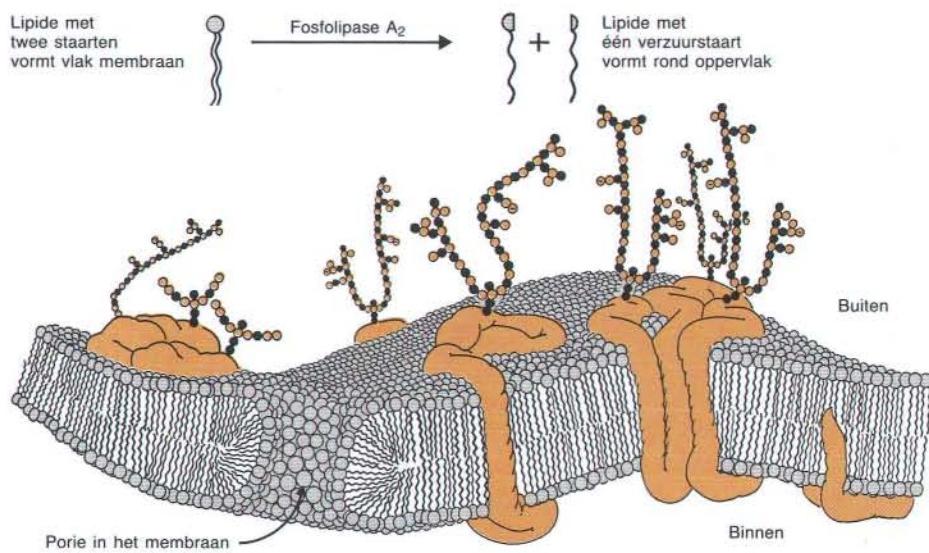
7



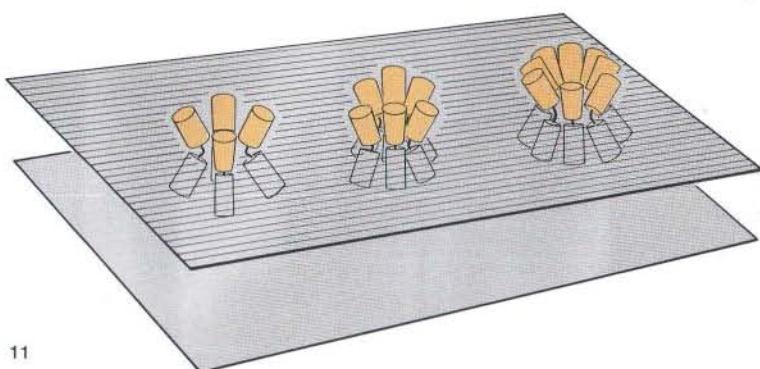
8



9



11. Schematische weergave van transmembrane poriën, ontstaan onder invloed van melittine-oligomeren. De membraan is hier voorgesteld als twee evenwijdige vlakken met een tussenruimte van 5 nm. Ieder melittinemolecul is voorgesteld als een scharnierende cilinder. De grotere melittine-oligomeren ( $n \geq 6$ ) vormen een hydrofiel kanaal.



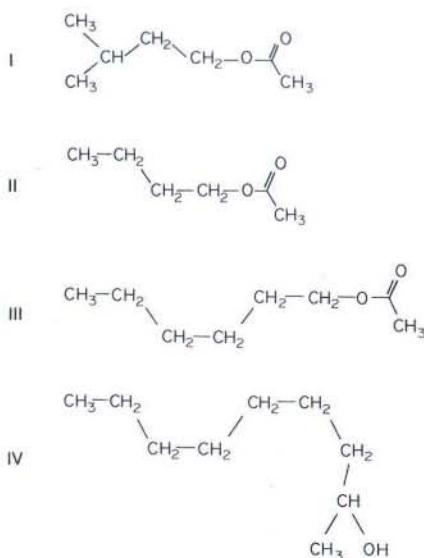
11

braan te blokkeren die door adrenaline normaal worden geopend. Adrenaline werkt als een stresshormoon. Uitschakelen ervan betekent dat een organisme minder adequaat op gevaar reageert. En een bij is nu eenmaal gevaarlijk voor veel levende wezens. Apamine blokkeert overigens ook de werking van andere stoffen die een belangrijke rol spelen in de zenuwcellen van zowel gewervelde als ongewervelde dieren.

Het *MCD-peptide* (Mast-Cell Degranulating peptide ofwel mestcellen-degranulerend peptide) heeft een vergelijkbare structuur als apamine. Het heeft eveneens een  $\alpha$ -helix en twee zwavelbruggen. De molekülen hebben een zeer hoge positieve lading (8+). MCD-peptide heeft al in zeer lage concentraties ( $10^{-8}$  M) effect op de mestcellen, die voorkomen in de bloedbaan en in alle doorbloede weefsels. Ze bevatten een groot aantal membraanblaasjes die rijk zijn aan histamine. Als mestcellen geactiveerd worden, wat mogelijk is door een groot aantal verschillende prikkels, maar vooral door immunoglobinen van het IgE-type, komt histamine vrij. Ook MCD-peptide stimuleert deze afscheiding. Over de werking van histamine staat hieronder meer te lezen; histamine is namelijk zelf een bestanddeel van bijengif. Waarschijnlijk bindt het peptide aan bepaalde receptormolekülen in celmembranen op een manier die vergelijkbaar is met de manier waarop apamine dat doet. In de hersenen van ratten zijn inderdaad receptoren met een grote affiniteit voor MCD-peptide aangetroffen. In de moderne farmacologie begint men apamine en MCD-peptide op dezelfde manier toe te passen als gezuiverd slangengif. Deze

TABEL 2 De voornaamste vluchtbare bestanddelen van bijengif

VLUCHTBARE STOF	HOEVEELHEID PER BIJ ( $\mu\text{g}$ )	ACTIVITEIT ALS ALARMFEROMOON
Isopentylacetaat (I)	2	****
n-Butylacetaat (II)	0,1	**
Isopentanol	0,9	*
n-Hexylacetaat (III)	0,2	**
n-Octylacetaat	1,0	*
2-Nonanol (IV)	0,7	***
n-Decylacetaat	0,1	
Benzylacetaat	1,0	*
Benzylalcohol	0,2	
(2)-11-Eicos-1-ol	5	





12



13

12 en 13. Honing, pollen, was en propolis verzamelen en maken bijen eigenlijk alleen om hun jongen een goed onderkomen en te eten te geven en om een wintervoorraad voor het volk te hebben. De bekende zeshoekige vakjes in de honingraten worden voor opslag van de voedingsstoffen gebruikt, een even belangrijke functie hebben ze echter als broedkamer voor de larven. Op afbeelding 12 kruipen er net een paar uit hun veilige en goedbewaakte kamertjes.

gifstoffen kunnen worden gebruikt om specifieke proteïnen te lokaliseren: apamine is bijvoorbeeld gebruikt om bij pasgeboren en de ontwikkeling van de ionenkanalen in de zenuwcelmembranen in de hersenen te volgen.

In bijegif komen nog andere peptiden voor, bijvoorbeeld *secapine*, *tertiapine* en *procamidine*, maar de werking daarvan is momenteel nog niet bekend. Het is interessant dat deze drie peptiden voor zoogdieren niet erg giftig zijn en misschien heeft hun aanwezigheid in

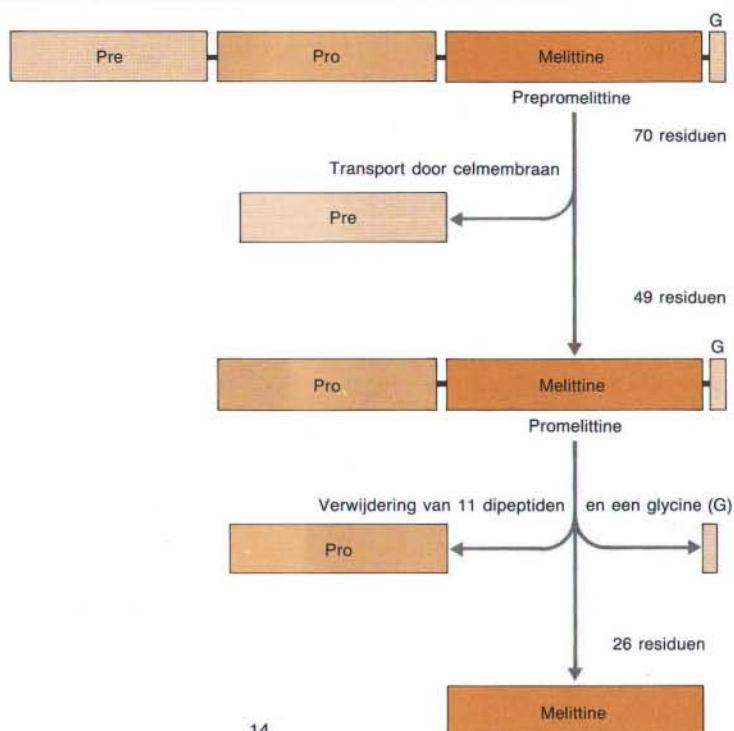
het bijegif te maken met een nog niet opgehelderde toxiciteit die gericht is tegen insecten en andere geleedpotigen.

#### Aminen

Kwantitatief gezien is *histamine* één van de voornaamste bestanddelen van bijegif. Bij zoogdieren kan deze stof wel pijn veroorzaken, maar het is onwaarschijnlijk dat dat de reden is van de aanwezigheid ervan, aangezien de hoeveelheid in het bijegif in het niet valt bij

14. Melittine wordt gesynthetiseerd in een langere aminozuurketen die enzymatisch wordt afgebroken. Alleen het resulterende melittine, dat pas in de gifblaas ontstaat, is giftig. Zo gaat een bij niet aan haar eigen gif te gronde.

15. Wanneer een nieuwe koningin uitvliegt, volgt een deel van het volk haar. De zwerf kan in een lege kast of korf worden ondergebracht en zo is dan een nieuw volk ontstaan. Imkers zorgen er vaak voor dat in een volk maar één koningin wordt geboren, zodat deze splitsingen achterwege blijven.



14

de hoeveelheid die vrijkomt uit de mestcellen als die geprikkeld worden door melittine en MCD-peptide. Histamine veroorzaakt verwijding van de bloedvaten en vergroot de doorlaatbaarheid van de bloedvatwanden. Dit vermakkelijkt het doordringen van andere giftige stoffen in het weefsel. Twee andere aminen in bijegif, *dopamine* en *noradrenaline*, versnellen de hartslag en bevorderen daarmee ook de verspreiding van het gif.

### Feromonen

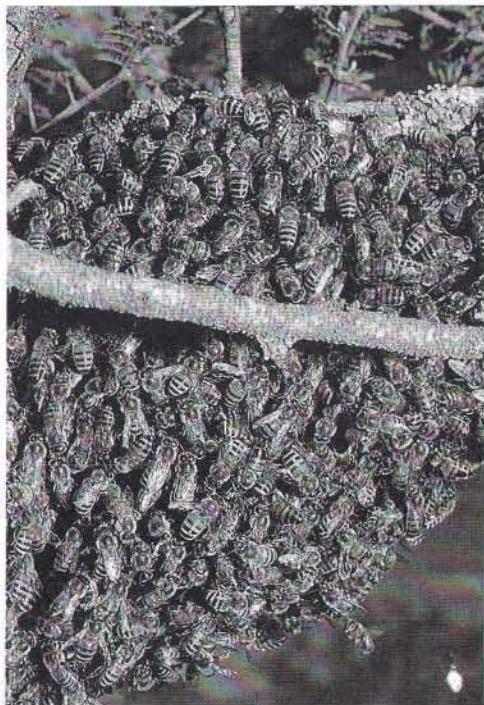
Bij sociale bijen worden veel activiteiten gereguleerd door feromonen. De meeste waarschuwingsferomonen van de honingbij worden met het gif afgescheiden. In bijegif komen meer dan 20 vluchtbare verbindingen voor, waarvan men er inmiddels tien heeft kunnen identificeren. De voornaamste zijn in tabel 2 onder elkaar gezet.

Wanneer een bijenkolonie wordt aangevallen, tillen de bijen bij de ingang of aan de rand van een zwerf hun achterlijf op, steken hun angels naar buiten en scheiden alarmferomonen af. Hierdoor wordt de hele kolonie ge-

waarschuwd. Ook wanneer een indringer gestoken wordt, worden er alarmferomonen afgegeven, die andere bijen de weg naar het slachtoffer wijzen. Van de tien geïdentificeerde vluchtbare esters en alcoholen in het gif zijn er maar vier met een krachtige feromonewerking. De overige geïdentificeerde bestanddelen hebben een groter moleculengewicht en zijn daarom minder vluchtbare. Men veronderstelt dat deze verbindingen dank zij hun geringere vluchtbareheid de verdamping en daardoor de verspreiding van de actieve bestanddelen van het gif kunnen vertragen.

### Biosynthese van melittine

Melittine is één van de krachtigste stoffen met membraanverstorende werking die we kennen. Het wordt gesynthetiseerd in de klieren van het gifapparaat van zowel werksters als koninginnen. Sinds de ontdekking van melittine vragen biochemici zich af hoe deze cellen in gifklieren zulke grote hoeveelheden van deze letale verbinding kunnen produceren zonder zelf te worden aangetast. Dit is overigens een alge-



15

meen probleem voor veel gifproducerende cellen. Het antwoord voor melittine is dat het in de cellen worden gesynthetiseerd als een onschadelijk voorlopermolekuul. De gifklercelen produceren geen melittine maar het zogenaamde *prepromelittine*, een uit 70 aminozuren bestaand peptide. Wanneer een prepromelittinemolekuul door de celmembraan naar buiten komt, wordt het peptide aan één kant een stukje ingekort, waardoor een korter peptide, het *promelittine*, ontstaat. Het stuk dat verloren gaat is nodig voor de verplaatsing van het molekuul door de membraan. In de gifbus wordt het promelittine aan beide uiteinden van een aantal aminozuren ontdaan en dan ontstaat pas het giftige melittine. Bij de overgang van promelittine naar melittine verandert de lading van het proteïne dramatisch, van 3- naar 6+. Dit heeft ongetwijfeld structuurveranderingen tot gevolg die waarschijnlijk ook een rol spelen bij het ontstaan van de actieve structuur. Dit onderzoek heeft geleid tot verschillende nieuwe inzichten in het verloop van de biosynthese van peptidehormonen in het algemeen.

## Toepassingen in de geneeskunde

Men beweert dat bijegif tot goede resultaten leidt bij de behandeling van allerlei reumatische aandoeningen. Jammer genoeg is deze bewering nooit bevestigd door een gecontroleerd klinisch onderzoek, hoewel sommige proeven bij dieren de hypothese steunen. Onlangs is aangetoond dat bijegif invloed heeft op *neurofielen*, een type witte bloedcellen dat ter plaatse van ontstekingshaarden superoxyde-anionen ( $O_2^-$ ) produceert. Superoxyde is een sterk oxyderend reagens dat allerlei biomolekülen als proteinen, DNA en membraanlipiden afbreekt. Het helpt mee de ontsteking te onderdrukken, door afbraak van de indringers. In aanwezigheid van bijegif wordt de produktie van neurofielen-superoxyde aanzienlijk geremd. Melittine gedraagt zich op dezelfde manier als bijegif en is dus vrijwel zeker het bestanddeel dat verantwoordelijk is voor deze remmende werking.

Het is onwaarschijnlijk dat onbewerkt bijegif ooit een belangrijke rol zal gaan spelen in de westerse geneeskunde. Het is echter heel goed mogelijk dat in de toekomst uit de gezuierde bestanddelen nieuwe geneesmiddelen kunnen worden ontwikkeld. Verbindingen die analoog zijn aan apamine kunnen bijvoorbeeld reacties op adrenaline veranderen. Van belang is dat secapine voor zoogdieren niet erg giftig is en misschien specifiek bedoeld is voor receptoren van ongewervelde dieren. Zulke molekülen kunnen de sleutel bevatten tot het ontwikkelen van insecticiden met een selectieve werking. Het ziet er naar uit dat verder onderzoek de moeite waard is.

Dit Euroartikel is een vertaling van een artikel dat eerder verscheen in ons Engels zusterblad Endeavour, 1988, no. 2, pag. 60-65.

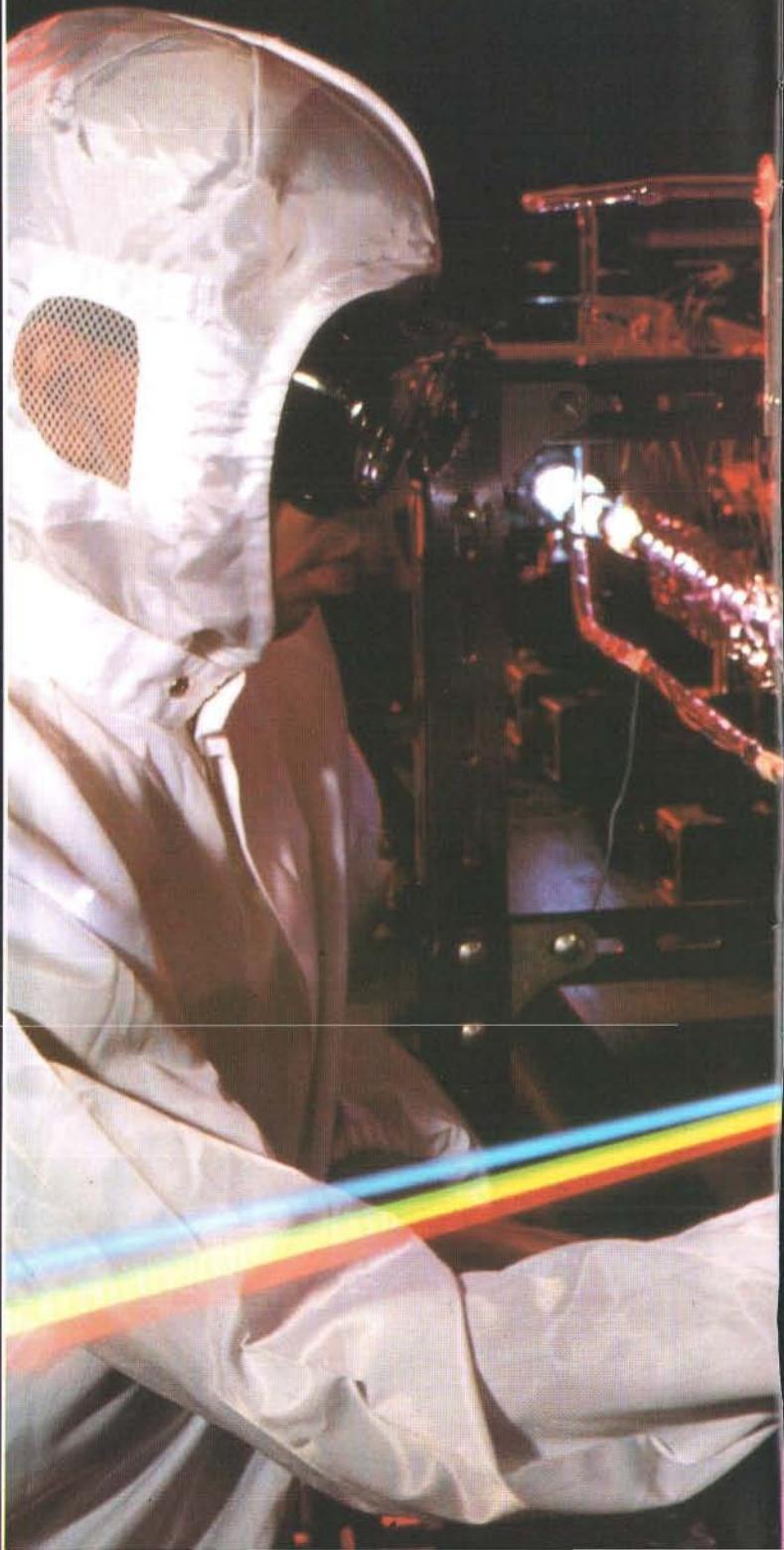
### Literatuur

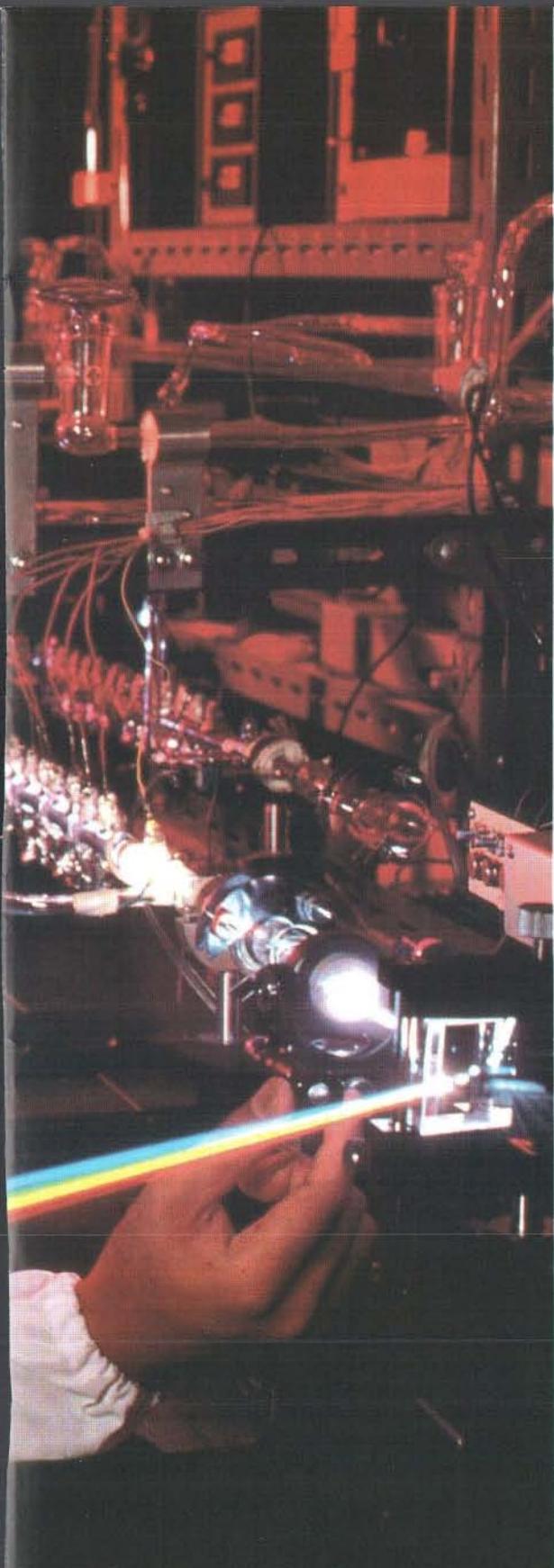
Gould JL en Gould CG. The Honey Bee. New York; Scientific American Library, Freeman & Co: 1988  
Menez A. Slangegif. Natuur en Techniek 1988: 56, 9; pag. 698-709

### Bronvermelding illustraties

Bruce Coleman, Uxbridge, UK: pag. 422-423, 2, 3, 4, 5, 15  
Dick Klees, Duiven: 6, 12, 13  
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.

J.W. Gerritsen,  
R.J.M. Bonnie en  
M. Hartemink  
*Universiteit Twente*





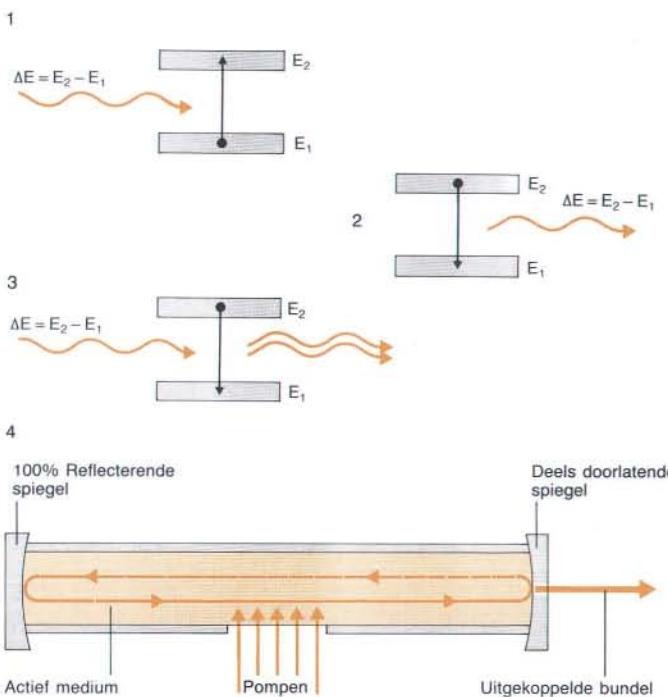
# HOOG- VERMOGEN GASLASERS

Einstein legde al in 1917 de grondslag voor de theorie van de laserwerking. Die werd in het begin van de jaren vijftig verder ontwikkeld, maar de eerste laser gaf pas in 1960 licht. Vanaf dat moment heeft de laser een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. Al gauw bleek dat laserwerking in veel verschillende stoffen mogelijk is. Nieuwe toepassingen voor deze revolutionaire lichtbron ontwikkelden zich in nog hoger tempo. Lasers kunnen als meetinstrument gebruikt worden en tevens als gereedschap. Afbakken, markeren, afstanden meten, lassen, snijden en boren, het behoort allemaal tot de mogelijkheden. Lasers worden met succes toegepast in het wetenschappelijk onderzoek en de medische wereld. Dichter bij huis komen we inmiddels ook lasers tegen: in compact-discspeilers en streepjescodelezers bijvoorbeeld. Meer tot de verbeelding spreken laserlichtshows en met lasers vervaardigde hologrammen. Dit artikel gaat na een algemene inleiding over de laserwerking nader in op de hoogvermogen gaslasers, die voornamelijk industriële en medische toepassingen vinden.

Het woord laser is een afkorting van de Engelse term *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, wat te vertalen is als *lichtversterking door het gestimuleerd uitzenden van straling*. In die uitdrukking komen de woorden straling en licht voor. Dat zijn twee nauwverwante verschijnselen. Licht is de vorm van straling, die we met het blote oog kunnen zien. In het dagelijks woordgebruik is het onderscheid tussen licht en straling vaak moeilijk te maken. Het woord straling wordt ook veel misbruikt. De uitdrukking *radioactieve straling* is bijvoorbeeld eigenlijk foutief: ‘radio’ betekent ook al straling, en ‘stralingactieve straling’ is wel erg dubbel op.

In de nauwkeuriger formuleringen in de natuurkunde wordt straling in twee soorten onderscheiden: de straling van deeltjes met massa en de elektromagnetische straling. Die laatste mag theoretisch als golven, maar ook als masseloze deeltjes, de *fotonen*, worden behandeld. *Deeltjesstraling* is een verzamelnaam voor verschillende soorten radioactiviteit. In de natuur komen veel elementen voor waarvan de kernen uiteenvallen onder uitzending van deeltjes als heliumkernen ( $\alpha$ -deeltjes) of elektronen ( $\beta$ -deeltjes). Deze deeltjes hebben een

massa en we kunnen ze dus echt als materie opvatten. Met de radioactiviteit die als  $\gamma$ -straling vrijkomt, maken we de overgang naar de *elektromagnetische straling*. Die is van een ander kaliber. Het voornaamste verschil met deeltjesstraling is dat bij elektromagnetische straling geen sprake is van deeltjes met massa. Afhankelijk van welk probleem men bestudeert, zegt men dat elektromagnetische straling een golfverschijnsel is, of een stroom van energiepakketjes. De uitgezonden golf beweegt zich voort met de lichtsnelheid ( $3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en kan een golflengte hebben van minder dan één miljoenste millimeter tot meer dan een kilometer. Zichtbaar licht beslaat maar een klein deel van dit elektromagnetisch spectrum, namelijk dat van 400 nm tot 700 nm (1 nm is één miljoenste millimeter). Beschrijft men elektromagnetische straling als massaloos deeltje, dan heeft men energiepakketjes voor ogen, de fotonen, die ieder slechts een bepaalde hoeveelheid energie kunnen bevatten. De beschrijfwijzen van golf en foton worden gekoppeld door de wet van Planck, die stelt dat de energie van een foton gelijk is aan een constante  $h$ , vermenigvuldigd met de lichtsnelheid, gedeeld door de golflengte ( $E = hc/\lambda$ ).

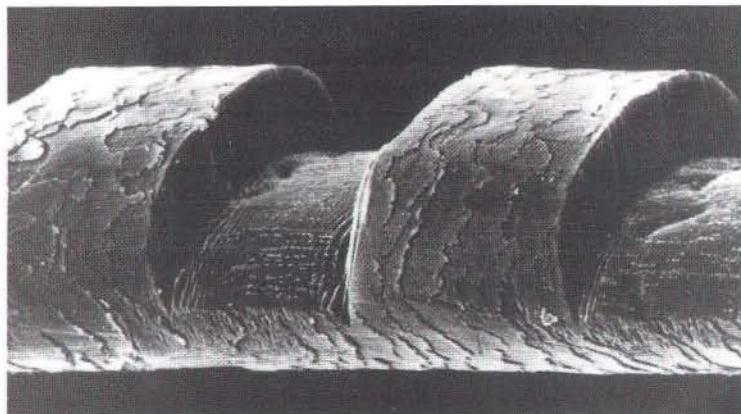


1. Een foton met energie  $\Delta E$  wordt door een deeltje geabsorbeerd, dat daardoor overgaat van energietoestand  $E_1$  naar de aangeslagen toestand  $E_2$ .

2. Bij spontane emissie gaat een deeltje van energietoestand  $E_2$  over naar de toestand met energie  $E_1$ , onder uitzending van een foton met energie  $\Delta E$ . De golflengte van het foton is gerelateerd aan het energieverschil  $\Delta E$ .

3. Onder invloed van een foton met energie  $\Delta E$  gaat een deeltje over van energietoestand  $E_2$  naar toestand  $E_1$ , waarbij een aan het eerste identiek foton wordt uitgezonden. Hier is sprake van gestimuleerde emissie.

4. In het actieve medium van de laser kan gestimuleerde emissie plaatsvinden. Dank zij de spiegels doorloopt de lichtbundel meermalen het actieve medium. Bij iedere passage ondervindt de bundel versterking. Een gedeelte van deze bundel kan uit de laser treden doordat één van de beide spiegels slechts een deel van het opvallende licht reflecteert.



5

5. Met een excimeerlaser kan men bijzonder nauwkeurig snijden. Hier zijn uit een hoofdhaar gedeelten weggesneden. Opvallend zijn de zeer scherpe snijvlakken die zo ontstaan.

Versterking is een proces dat bij laserworking een grote rol speelt. In het geval van een laser laat dit proces zich het best vergelijken met een steenlawine. Er hoeven slechts een paar stenen los te komen, die andere in hun val meesleuren en voor we het weten hebben we een berghelling vol rollende stenen. In het geval van de stenen is het hun wankelige positie op de berghelling die het versterkende effect mogelijk maakt. Versterking van licht in een laser is mogelijk dank zij hogere energietoestanden van molekülen en atomen die onder uitzending van een foton willen vervallen naar de grondtoestand. De fotonen kunnen weer andere fotonen 'meesleuren'. Om dit vervalproces mogelijk te maken moeten we eerst energie toevoegen. In de praktijk gebeurt dit bij lasers meestal met flitslampen, elektriciteit of elektronenbundels.

Om licht te maken, moeten we atomen of molekülen hebben die fotonen uit kunnen zenden, of die, anders gezegd, *spontane emissie* kunnen vertonen. In een gloeilamp is het het wolfram in de gloeidraad dat de fotonen uitzendt; in een TL-buis zijn het de atomen en molekülen in het vulgas en in de coating van de wand van de gasbuis. Een deeltje dat een foton uitzendt, verliest hierbij een bepaalde hoeveelheid energie, omdat een foton nu eenmaal een energiepakketje is. Aangezien van nature bijna alle deeltjes zich in de laagst mogelijke energietoestand, de *grondtoestand*, bevinden, zal het proces van spontane emissie alleen optreden als er eerst energie aan de atomen en molekülen is toegevoerd. In de voorbeelden van de

gloeilamp en de TL-buis zorgt de elektriciteit voor die energie. Toevoeren van energie leidt tot allerhande bewegingen van de deeltjes. Ze gaan trillen, buigen en/of tollen, of er vinden elektronenovergangen plaats. Ruwweg worden de molekuulbewegingen onderverdeeld in *vibraties* en *rotaties*.

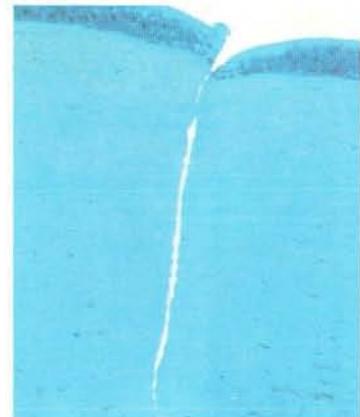
Rond de eeuwwisseling, voorafgaande aan de ontwikkeling van de quantumphysica, ontdekte men dat deze bewegingen niet willekeurig optraden. Aangezien iedere bewegingswijze een specifieke energie-inhoud heeft, volgt hieruit dat er slechts een beperkt aantal hogere energietoestanden bestaat. Het energieverloop tussen zo'n *aangeslagen toestand* en de grondtoestand verloopt dus niet continu (klassieke fysica) maar neemt heel bepaalde, discrete waarden aan (quantumphysica). De wet van Planck, die we hierboven al tegenkwamen, past binnen de quantumphysica. Bij een elektronen-, rotatie- of vibratie-overgang moet een molekuul energie opnemen dan wel afstaan. Gebeurt dit in de vorm van een foton, dan kunnen we met de wet van Planck de bij deze energie passende golflengte van de straling uitrekenen.

Om spontane emissie te bevorderen moeten we dus voldoende energie toevoeren om de molekülen in de voor ons doel geschikte aangeslagen toestand te brengen. Bij de terugval naar de grondtoestand zenden de deeltjes een foton uit. Een uitgezonden foton kan vervolgens een buurdeeltje treffen, dat of in de grondtoestand verkeert, of in de aangeslagen toestand. In de grondtoestand kan de fo-

6 en 7. In de chirurgie zijn excimeerlasers bijzonder waardevol door de scherpe en toch relatief diepe insnijdingen die mogelijk zijn. Foto 6 toont het resultaat van een proef waarbij een klein stukje huid werd verwijderd. Afbeelding 7 is de dwarsdoorsnede van een hoornvlie van een excimeerlaser een snede van  $20 \mu\text{m}$  breed en enkele honderden micrometer diepte werd gemaakt. Met conventionele lasers veroorzaakte men bij zulke insneden ook altijd weefselbeschadigingen aan de snijranden, die zijn hier afwezig.



6



7

ton-energie geabsorbeerd worden, waardoor het deeltje zelf aan energie wint en in de aangeslagen toestand terecht komt. Dit proces heet *absorptie*. Wanneer het getroffen deeltje al in de aangeslagen toestand zit, kan het door het botsende foton worden gestimuleerd een identiek foton uit te zenden en zo weer de grondtoestand aan te nemen: we spreken in dit geval van *gestimuleerde emissie*. Dat is precies wat er in een laser gebeurt. Door deze gestimuleerde emissie neemt het aantal fotonen toe; er is dus sprake van versterking. Het verschijnsel gestimuleerde emissie is eigenlijk het makkelijkst vanuit de quantummechanische theorie te begrijpen. Albert Einstein postuleerde deze vorm van gestimuleerde energie-afgifte al in 1917. Het zou nog ruim veertig jaar duren voor de laserwerking ook echt tot stand werd gebracht.

Een voorwaarde voor laserwerking is dus dat een deeltje in aangeslagen toestand spontane emissie moet vertonen en dat het uitgezonnen foton daarna een grote kans moet hebben een deeltje te treffen dat nog in een aangeslagen toestand verkeert. Voor laserwerking moeten dus erg veel deeltjes in de aangeslagen toestand verkeren. Wanneer het aantal deeltjes in een aangeslagen toestand groter is dan het aantal in de grondtoestand, spreken we van *populatie-inversie*. Het toevoeren van energie noemt men ook wel het *pompen* en de stof waarin populatie-inversie is aangebracht een *actief medium*. In dit actieve medium treedt spontane emissie op: er wordt licht uitgezonnen. Men houdt het licht in het actieve me-

dium door het via spiegels of deels doorlatende spiegels weer terug door het actieve medium te sturen. Dit zal aanleiding geven tot gestimuleerde emissie of tot absorptie. Wanneer er een populatie-inversie is, overheerst de gestimuleerde emissie de absorptie. Het aantal identieke fotonen zal toenemen en het licht wordt versterkt. Er is laserwerking.

De geproduceerde laserstraling wordt aan het actieve medium onttrokken door één van beide spiegels die om het medium staan deels doorlatend te maken. Slechts een gedeelte van de straling wordt gereflecteerd, de rest treedt door de spiegel naar buiten. Dit noemt men het *uitkoppelen* van de straling.

Laserstraling heeft twee kenmerkende eigenschappen: ze is *monochromatisch* en in hoge mate *coherent*. De eerste eigenschap wil zeggen dat het uitgezonden licht één golflengte heeft, die wordt bepaald door het energieverschil tussen een aangeslagen toestand en de grondtoestand. Die toestanden zullen we verderop ook het *laser-bovenniveau* en het *laser-onderniveau* noemen. Dat is niet om het ingewikkeld te maken, maar strikt genomen komt het laser-onder niveau niet altijd precies overeen met de moleculaire grondtoestand. De coherentie, wat wil zeggen dat de lichtgolven in fase zijn, komt doordat we te maken hebben met gestimuleerde emissie. Wanneer een stimulerend foton op een aangeslagen deeltje valt, heeft het door gestimuleerde emissie vrijkomende foton dezelfde eigenschappen als het opvallende foton, waardoor correlatie in fase is gewaarborgd.

## Gaslasers

De verschillende typen lasers ontlenen hun naam aan het actieve medium waarin de laserwerking ontstaat. We onderscheiden *gas*-, *vloeistof*- en *vaste-stof*lasers. Die kunnen verder onderverdeeld worden in *gepulste* en *continue* lasers.

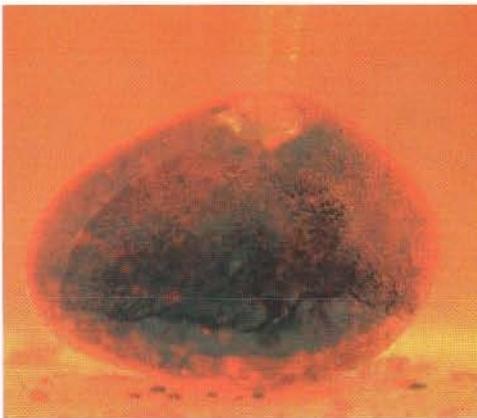
De eerste werkende laser was een vaste-stoflaser: de Amerikaanse onderzoeker Maiman liet na vele mislukte pogingen een met flitsbussen gepompt robijnkristal als laser functioneren. Van de gaslasers is de helium-neonlaser de bekendste. Deze continue zichtbaar-lichtlaser ( $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  (rood)) wordt hoofdzakelijk als

hulpmiddel gebruikt in de bouw, door landmeters, bij begeleiding van grote transporten, of bij het exact plaatsen van grote voorwerpen. Ook de streepjescodelezers, die we meer en meer bij kassa's in grote winkels zien, werken met een helium-neonlaser. Aangezien met deze laagvermogenlaser een aantal eigenschappen van coherent licht zeer aanschouwelijk kan worden gedemonstreerd, beschikken ook veel scholen over een dergelijk apparaat.

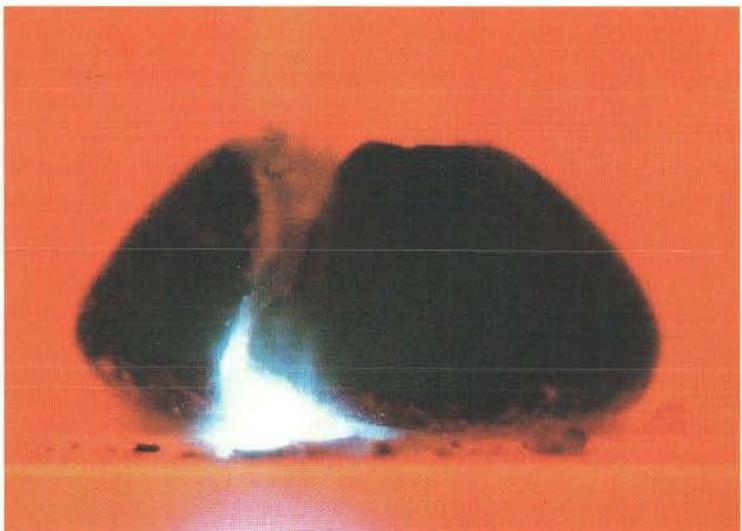
Minstens zo belangrijk, maar minder bekend, zijn lasers die een stralingsvermogen van meer dan Gigawatts kunnen leveren. Veruit de bekendste vertegenwoordigers van de gaslasers zijn de gepulste CO<sub>2</sub>- en excimeerlasers. De



8



9



10

8, 9 en 10. Een galsteen, hier ter demonstratie buiten het lichaam gebracht, kan binnen tienden van seconden worden 'opgeblazen' met straling van een excimeerlaser, die via een glasvezel op het pijn veroorzaakende klontje mineralen wordt gericht.

toepassingen voor deze lasers zijn voornamelijk in de industrie te vinden. De fundamentele processen waarop deze systemen gebaseerd zijn, zijn goeddeels bekend, maar met name op technologisch vlak zijn de komende jaren nog tal van ontwikkelingen en verbeteringen te verwachten.

### CO<sub>2</sub>-lasers

Het CO<sub>2</sub>-molekulum heeft drie onafhankelijke vibratiewijzen (afb. 11), die worden aangeduid met  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  en  $\nu_3$ . De drie trillingswijzen hebben elk een kenmerkende energie-inhoud. De energie van  $\nu_3$  is groter dan die van zowel  $\nu_1$  als  $\nu_2$ . De overgang van een CO<sub>2</sub>-molekulum uit het  $\nu_3$ -niveau naar een vibratieniveau met een lagere energie-inhoud vormt de basis voor laserwerking, mits natuurlijk deze overgang plaatsvindt door middel van stralend verval. Het energieverzil tussen het  $\nu_3$ - en  $\nu_1$ -niveau correspondeert met een golflengte van 10 600 nm. Tussen  $\nu_3$  en  $\nu_2$  kan laserwerking met een golflengte van 9600 nm plaatsvinden. Deze infrarode straling is voelbaar als warmte, maar voor mensen niet zichtbaar. Zo op het oog zijn er dus twee golflengten waarop een CO<sub>2</sub>-laser kan werken, maar de werkelijkheid is gecompliceerder dan hier geschatst. Naast de al genoemde vibratietrillingen kan het CO<sub>2</sub>-molekulum ook nog roeren. Het energieverzil tussen twee vibratieniveau's is meestal veel groter dan tussen twee rotatietoestanden. Doordat tijdens een overgang tussen twee vibratie-toestanden ook de rotatietoestand kan veran-

deren, bestaan er tussen het  $\nu_3$ - en  $\nu_1$ -niveau een aantal dicht bij elkaar liggende overgangen. Door een geschikte keuze van de optiek waar het actieve medium, in dit geval het CO<sub>2</sub>-gas tussen zit, is het echter mogelijk om één overgang te bevoordelen boven alle andere. Zodoende is laserwerking op slechts één enkele golflengte te realiseren.

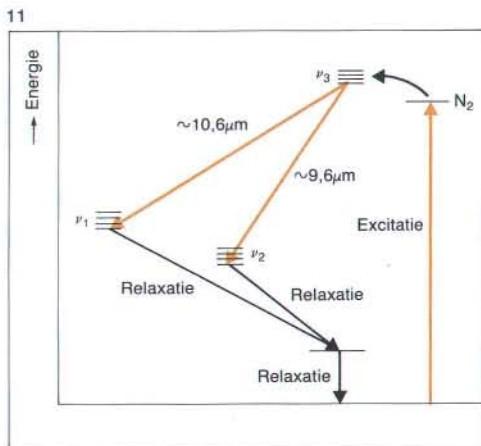
### Excimeerlaser

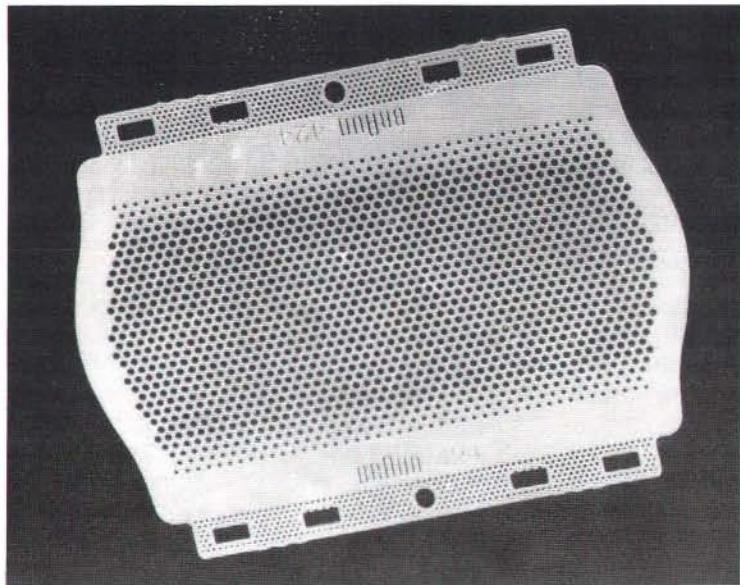
De naam excimeer is een samentrekking van *excited dimer* en slaat op het feit dat deze klasse lasers oorspronkelijk uitsluitend de geëxciteerde edelgasdimeren Xe<sub>2</sub>, Kr<sub>2</sub> en Ar<sub>2</sub> als actieve media had. Voor u nu aan uw chemische kennis gaat twijfelen melden we dat die dimeren van edelgasmolekülen onder normale omstandigheden niet bestaan. Eenmaal geëxciteerd klit een Xe-atoom echter wel kortstondig samen met een ander geëxciteerd Xe-atoom. Als de tweeling zijn excitatie-energie kwijtraakt, valt het Xe<sub>2</sub> weer uiteen in twee Xe-atomen. Deze gang van zaken heeft voordelen voor de laserwerking. Wanneer Xe<sub>2</sub>-dimeren zijn gevormd, bestaat per definitie een populatie-inversie, omdat de dimer niet in de grondtoestand voorkomt. Natuurlijk moet er wel gepompt worden om de dimeren uit de monomeren te laten ontstaan, maar een foton van een vervallend dimer dat een andere dimer raakt, veroorzaakt daarin al snel gestimuleerde emissie.

Binnen twee jaar na ontwikkeling van de eerste Xe<sub>2</sub>-laser bleken ook allerlei andere mo-

11. Bij een CO<sub>2</sub>-laser vindt laserwerking plaats tussen de vibratieniveaus  $\nu_3$  en  $\nu_1$  (10 600 nm) of tussen  $\nu_3$  en  $\nu_2$  (9600 nm). Deze niveaus zijn gesplitst ten gevolge van rotatie, waardoor in principe veel overgangen rond de genoemde frequenties mogelijk zijn. De molekülen in de  $\nu_1$ - en  $\nu_2$ -niveaus relaxeren via een tussen niveau naar de grondtoestand. Het  $\nu_3$ -vibratieniveau wordt hoofdzakelijk bevolkt door interactie met het aangegeven niveau in N<sub>2</sub>, dat door pompen efficiënt bereikbaar is.

12. Bij een excimeerlaser ontstaat laserlicht door elektronen die onder uitzending van energie terugvallen van het kortlevende laser-bovenniveau naar het onderniveau. In het onderniveau is de geëxciteerde dimer niet stabiel en valt uiteen. Tengevolge daarvan is populatie-inversie bij excimeerlasers van nature aanwezig. Het bovenniveau wordt via een groot aantal reacties gecreëerd.





13

13. Snel pulsende excimere lasers zijn in de industrie onder meer goed te gebruiken om kleine gaatjes in metaal te 'boren'. Het getoonde voorbeeld is een scheerblad van een elektrisch scheerapparaat.

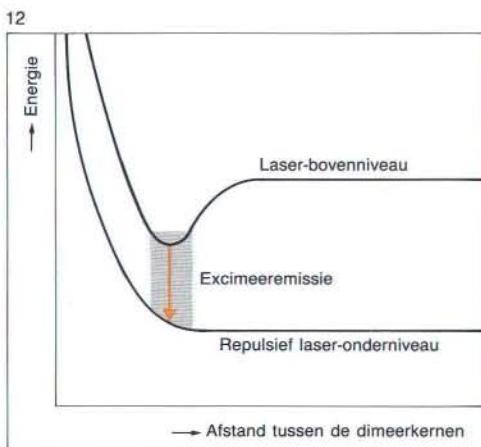
moleculen een dergelijk gedrag te vertonen. De bekendste zijn halogeen-edelgasverbindingen als ArF, KrF en XeCl. Zij worden eveneens excimeren genoemd, hoewel het dus absoluut geen dimeren zijn die hier de laserwerking verzorgen. De laserwerking bij deze moleculen berust op een elektronenovergang waarbij de grondtoestand niet stabiel is. Ook hier is, dank zij de instabiele grondtoestand, de voor laserwerking vereiste populatie-inversie van nature aanwezig. Het laser-bovenniveau kan onmoe-

lijk rechtstreeks worden gevuld, omdat nageenog geen excimeermolekulen in het grondniveau aanwezig zijn. Het bovenniveau wordt dan ook pas gevormd na een groot aantal reacties. De golflengten van de bekendste excimere lasers vallen in het ultraviolette deel van het spectrum. KrF heeft  $\lambda = 248$  nm; XeCl een  $\lambda$  van 308 nm, en voor ArF is  $\lambda = 193$  nm.

#### Continu of gepulst?

Continue lasers zijn lasers die een ononderbroken lichtstraal afgeven. Ook binnen de familie van de gaslasers vinden we veel verschillende typen. We noemen de elektrisch gepompte HeNe-, Ar-ion-, CO- en CO<sub>2</sub>-lasers maar ook de optisch gepompte NH<sub>3</sub>-lasers.

Als voorbeeld beschrijven we een elektrisch gepompte CO<sub>2</sub>-laser. Uiterlijk heeft deze laser veel gemeen met een TL-buis. Over een met gas gevulde buis wordt hoogspanning aangesloten. Ten gevolge hiervan loopt door het gas een elektrische stroom, die zorgt voor de excitatie van de gasmolekülen. Door aan beide uiteinden van de buis spiegels te plaatsen, wordt de laser gevormd. De dubbelwandige glazen buis heeft een lengte van ongeveer één meter, een inwendige diameter van 15 mm en wordt gevuld met een gasmengsel van CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:



## Hoge-repetitiefrequentie lasers

INTERMEZZO

Bij diverse industriële toepassingen bestaat de behoefte aan lasers die een hoog optisch vermogen combineren met een hoge pulsfrequentie. Dit is bijvoorbeeld het geval als men met hoge snelheid aan een lopende band markeringen op onderdelen wil aanbrengen. Gezien de kwetsbare anodefolies in elektronenbundelsystemen geeft men voor hoge-repetitiefrequentie lasers de voorkeur aan gasontladingssystemen. In dit kader wordt veel onderzoek verricht. Binnen een Europees samenwerkingsverband (Eureka) wordt momenteel een XeCl-laser ontwikkeld, die duizend pulsen per seconde met een energie van tenminste 1 Joule per puls moet leveren. Deze specificaties zijn enkele malen groter dan die van de huidige commerciële systemen. De constructie van deze hoogvermogen snelle pulssystemen levert tal van technische complicaties op. Eén van de voornaamste problemen is de warmte-ontwikkeling

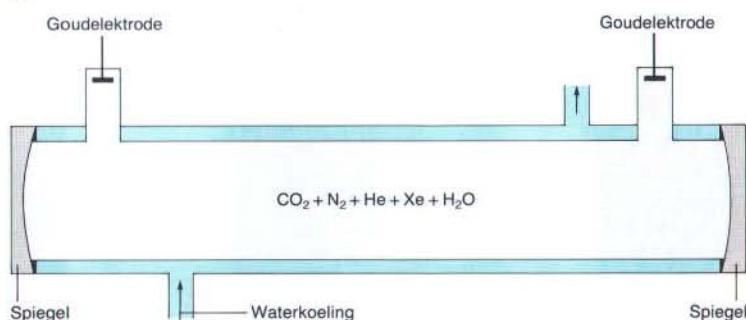
vanwege het slechte rendement van de meeste gaslasersystemen. CO<sub>2</sub>-lasers hebben nog een rendement van 15%, maar een XeCl-excimeerlaser haalt slechts 2%. In een XeCl-laser met een optisch uitgangsvermogen van 1 kW moet dus 49 kW warmte uit het gas worden afgevoerd. Dat is de warmteproductie van een dertigal gloeiend hete keukenmodel ovens. Het gas in de laser moet daarom via warmtewisselaars worden rondgepompt.

Een ander technisch probleem vormt de bouw van een voorionisatiebron die even snel kan pulsen als de laser. De gebruikelijke UV-bronnen veroorzaken te veel verontreiniging van het gas en snel pulsende röntgenbronnen zijn gecompliceerd van constructie.

De moeilijkste onderdelen van dergelijke lasersystemen zijn echter de elektrische circuits. Aan condensatoren en schakelaars worden extreem hoge eisen gesteld.

14

14. In een continue CO<sub>2</sub>-laser vormt de laserbuis met de beide spiegels een afgesloten ruimte waarin het gasmengsel zit. De laser wordt met door een mantel stroomend water gekoeld. Het pompen naar het laser-bovenniveau gebeurt met elektrische ontladingen tussen beide elektroden.



He = 1:2:6 tot een totaaldruk van 2000 Pa (15 mm kwikdruk). Het helium wordt toegevoegd om de elektrische ontlasting te stabiliseren en voor een goede warmtegeleiding. Het helium draagt de warmte over aan koelwater, dat door een mantel langs de buis stroomt. De stikstof vergemakkelijkt het exciteren van het laser-bovenniveau, in dit geval het  $\nu_3$ -vibratieniveau van CO<sub>2</sub> (afb. 11). De benodigde gelijkspanning bedraagt 15 kV; waardoor een stroom door het gas loopt van ongeveer 20 mA. Bij een rendement van ruwweg 15% vinden we dan een optisch uitgangsvermogen van circa 50 W. De rest van de energie wordt als warmte in het lasergas opgenomen en moet via

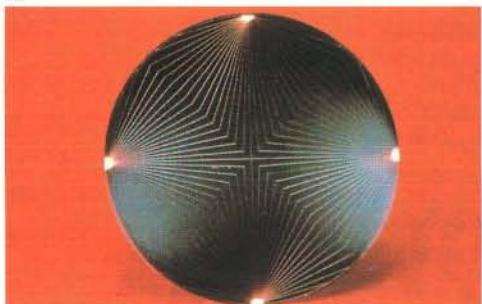
het koelwater worden afgevoerd. Het maximum optisch vermogen van dit lasersysteem is ten gevolge van de warmte-ontwikkeling beperkt tot een paar kilowatt.

Vooral bij talrijke materiaalkundige toepassingen zijn lasers met een zeer hoog optisch vermogen, van meer dan 10<sup>9</sup> W gewenst. Een zo hoog vermogen kan niet met een continue laser gerealiseerd worden omdat geen centrale dat vermogen kan leveren. Een laser die vele zeer korte pulsen afgeeft kan in iedere puls wel veel energie kwijt. Deze lasers werken over het algemeen bij gasdrukken van 1 tot 20 atmosfeer. Ten behoeve van kernfusie-onderzoek met behulp van lasers is in Los Alamos (VS)



15

16



een CO<sub>2</sub>-lasersysteem (Antares-project) ontwikkeld met een piekvermogen van maar liefst 40 TW (terawatt =  $10^{12}$  W) en een KrF-laser van 50-100 TW (Polaris-project). Voor deze gepulste lasers worden in principe twee verschillende methoden van pompen toegepast om de deeltjes te exciteren en het laser-bovenniveau te bevolken: met een elektronenbundel of met een snelle gasontlading.

#### Pompen met elektronenbundels

Schiet men elektronen in het lasergas dan botsen ze met de gasatomen en dragen daarbij hun energie gedeeltelijk over. De gasatomen

15. Een excimeerlaser voor industrieel gebruik. De eigenlijke laser zit in de bovenste langwerpige kast. Het laserlicht valt via een spiegel op het werktafelblad op het verlaagde vlak rechts. Dat tableau kan een preparaat bevat-ten dat computergestuurd te positioneren is. Met deze laser kan men bijvoorbeeld glas- of metaalop-pervlakken markeren.

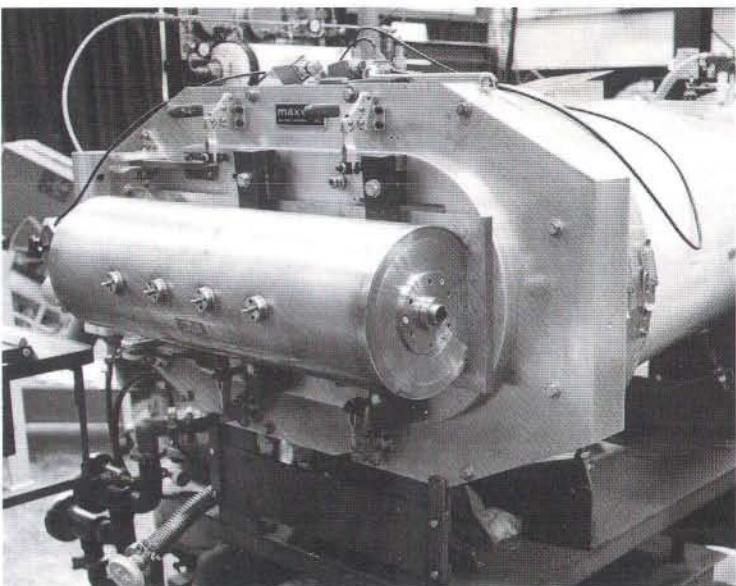
16. Een fotovoltaïsche cel voor een zonnepaneel waarvan de verbindingen, het lijnenpatroon op de foto, gemaakt zijn door ionenimplantatie, waarna ze gehard zijn met behulp van een excimeerlaser. Deze produktiemethode is kostenbesparend ten opzichte van de oude methode waarbij het silicium en de verbindingen werden opgedampt.

worden hierdoor zo sterk geëxciteerd dat ionen ontstaan. Door botsingsprocessen tussen de gasionen en -molekülen wordt de energie van een ion over meerdere deeltjes verdeeld die vervolgens het bovenniveau bevolken. De elektronenbundel wordt geproduceerd in een vacuümkamer tussen twee hoogspanningselektroden. De kathode bestaat meestal uit een koolstof- of tantaalstrip, de anode is een titaanfolie en doet tevens dienst als scheidingswand tussen de laserkamer en de vacuümkamer. De elektronen die door de hoogspanningspuls bij de kathode vrijkomen, vliegen, versneld door het grote elektrische veld richting anode. Over een afstand van maar enkele centimeters bereiken ze bijna de lichtsnelheid. Men spreekt dan ook van *relativistische elektronen*. Als de elektronen niet frontaal met een atoomkern in de anodefolie botsen, vliegen ze er doorheen en komen in het lasergas terecht. Daar dragen de elektronen door botsingen met de gasmolekülen hun energie over.

De anodefolie is een kwetsbaar onderdeel van het lasersysteem. Om een scheiding tussen vacuüm in de versnellerruimte en druk in de laserholte te garanderen moet de folie sterk en dus dik zijn. Anderzijds dient de folie zo dun mogelijk te zijn ten einde de elektronenbundel minimaal te verzwakken. Bij excimeerlasers

17. In de vakgroep Quantumelectronica van de Universiteit Twente, waar twee van de auteurs van dit artikel aan verbonden zijn, is voor experimentele doeleinden een excimeer-laser gebouwd. De cilinder op de voorgrond is de laserkamer, waarvan de spiegelhouders niet waren gemonteerd toen deze foto werd genomen. De excitatie vindt plaats met een relativistische elektronenbundel die in het apparaat op de achtergrond wordt opgewekt.

18. Een gasontlasting in een hoge-druk-laser.



17

19 en 20. In een Marxgenerator wordt een aantal condensatoren parallel opladen. Door de condensatoren met behulp van vonkbruggen snel in serie te schakelen, levert de generator de som van de afzonderlijke laadspanningen. Aangezien de verkregen energie relatief traag beschikbaar komt, wordt de energie eerst naar een

pulsformer gevoerd en vervolgens in de gewenste elektronenbundel omgezet. De snelle elektronen komen via een dunne anodefolie de laser binnen en ioniseren de daar aanwezige gasmolekülen als ze ermee botsen. De ionen dragen hun energie over, waardoor meerdere gasmolekülen in het bovenniveau komen.

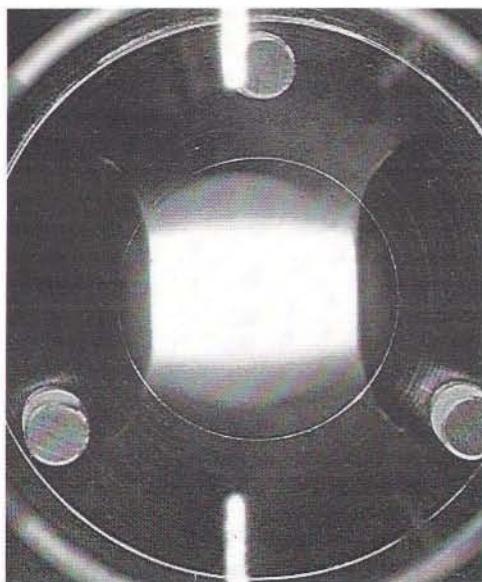
19



moet de folie bovendien bestand zijn tegen de in de laserruimte gebruikte agressieve gassen, als HCl of F<sub>2</sub>.

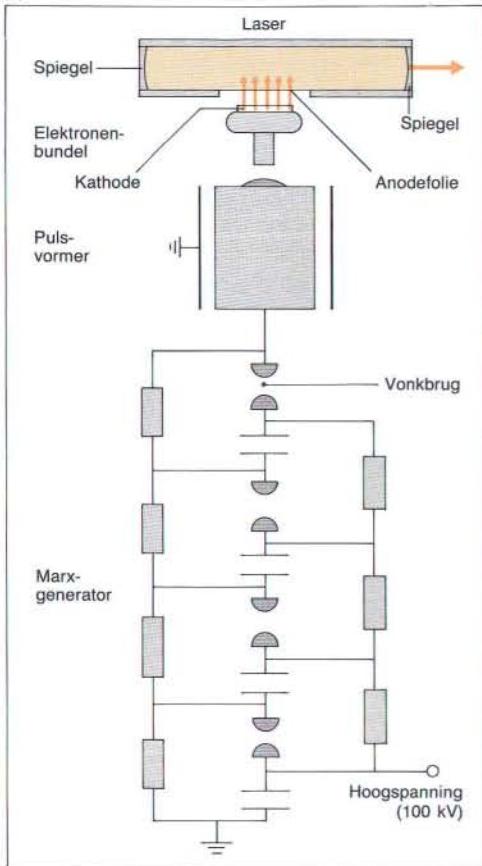
Om een voldoende krachtige elektronenbundel met veel elektronen op te wekken zijn meestal zeer hoge spanningen, van een paar honderd kilovolt, en stromen van enkele kiloampère nodig. Gewone hoogspanningsvoedingen zijn hiervoor niet geschikt, omdat deze slechts lage stroomsterkten kunnen leveren. Daarom gebruikt men zogenaamde *Marxgeneratoren*. In essentie bestaan deze uit een aantal parallel geschakelde condensatoren die worden opladen. Met behulp van snelle schakelaars, zogenaamde *vonkbruggen*, worden de

condensatoren vervolgens in serie geschakeld, waardoor de afzonderlijke spanningen van de condensatoren optellen (afb. 20). Stromen van enkele kiloampère bij spanningen van enkele megavolt zijn met dit soort generatoren haalbaar. Omdat de zo verkregen hoogspanningsenergie in het algemeen niet snel genoeg beschikbaar komt, wordt ze eerst opgeslagen in een pulsformer, een speciale hoogspanningscondensator. Zo'n pulsformer kan wel in zeer korte tijd zijn energie afgeven. De pulsduur van de elektronenbundel van een dergelijke Marxgenerator-pulsformercombinatie is, afhankelijk van het ontwerp van de pulsformer, 20 tot 200 nanoseconde.



18

20



## Gasontlading

Elektronenbundelsystemen zijn doorgaans complex van opbouw en door de folieconstructie tamelijk kwetsbaar. Voor commerciële of industriële toepassingen is daarom excitatie van deeltjes door middel van een snelle gasontlading een betere methode. Zo'n snelle gasontlading kan men creëren tussen twee elektroden waarover een hoogspanningspuls wordt gezet. Zonder speciale maatregelen zal deze elektrische puls echter een vonk tussen de elektroden veroorzaken, te vergelijken met een bliksemisching. Alle energie gaat door deze vonk van kathode naar anode en excitatie van deeltjes vindt dus niet in het hele laservolume plaats. Als het gas echter wordt voorioniseerd, zal na de hoogspanningspuls geen vonk overspringen, maar een homogene gasontlading plaatsvinden. Dit laatste betekent dat de energie gelijkmatig door het hele gasvolume van kathode naar anode stroomt. Tijdens deze ontlasting botsen de ontstane elektronen met gasmolekülen en dragen hun energie over, waardoor de inversie wordt opgebouwd.

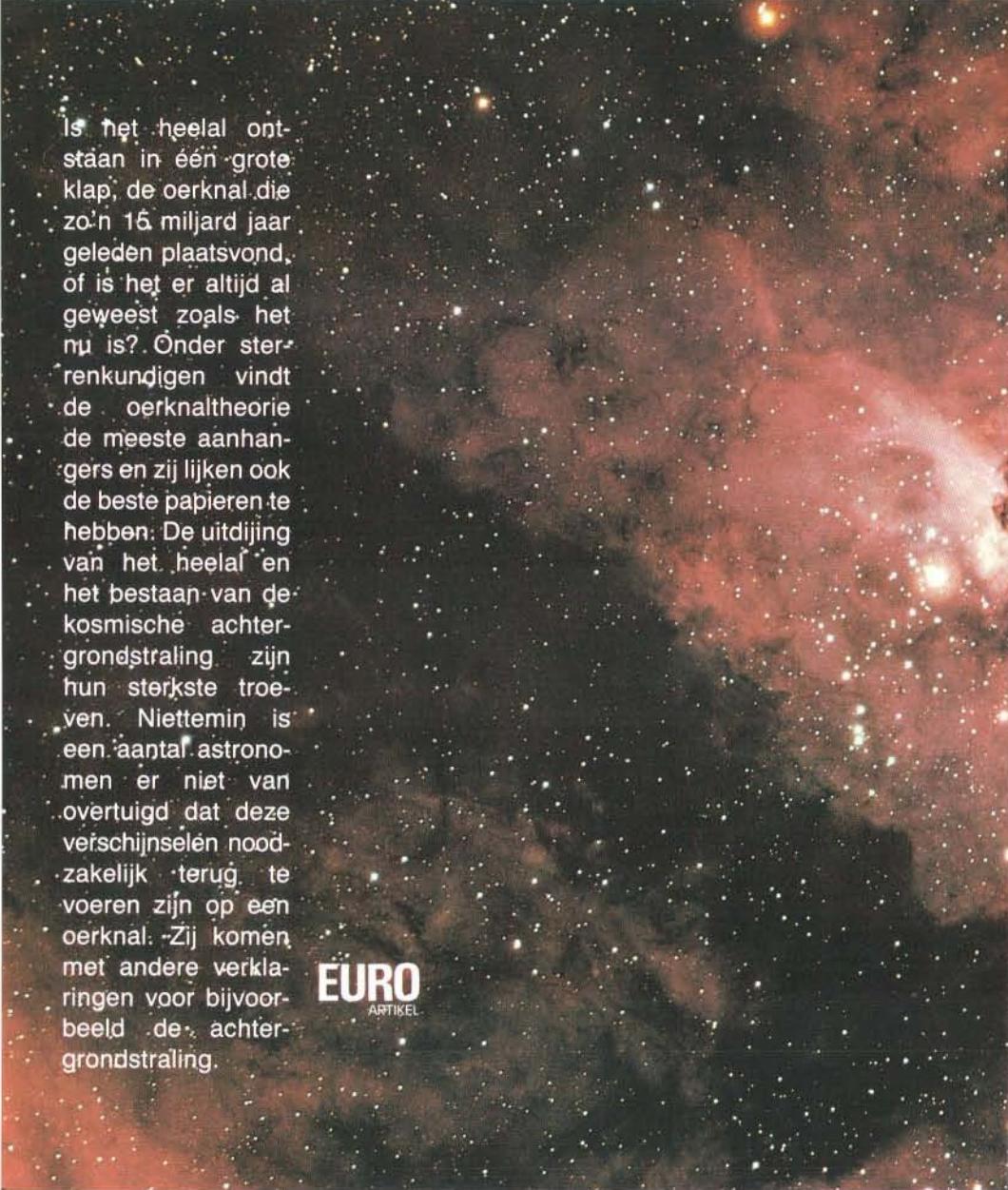
Voor de voorionisatie gebruikt men meestal UV- of röntgenstraling. In grote systemen of indien men zeer hoge gasdrukken gebruikt, heeft röntgenstraling de voorkeur, vanwege het grote doordringend vermogen. Het voordeel van UV-straling als voorionisatiebron is echter dat een UV-bron in principe in de laserruimte zelf geplaatst kan worden. Een gasontladingslaser met UV-voorionisatie kan daarom tamelijk compact zijn.

## Literatuur

- Siegman AE. Lasers. Mill Valley, California: University Science Books; 1986
- Ruiter W de. Laserwapens. Natuur en Techniek 1984: 52, 11; 782-801
- Emannelli H, Bandieramonte G en Andreola S. Het lichtmes. Natuur en Techniek 1985: 53, 2; 138-149

## Bronvermelding illustraties

- ABC-press, Amsterdam: pag. 434-435
- Lambda Physik, Göttingen, BRD, met medewerking van Optilas BV, Alphen aan de Rijn: 5, 8, 9, 10, 12, 15
- Spectra Physics, Eindhoven: 6, 16, 18
- Dr. Carmen A Puliafito, Massachusetts Eye and Ear Infirmary, VS/Spectra Physics, Eindhoven: 7
- De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.



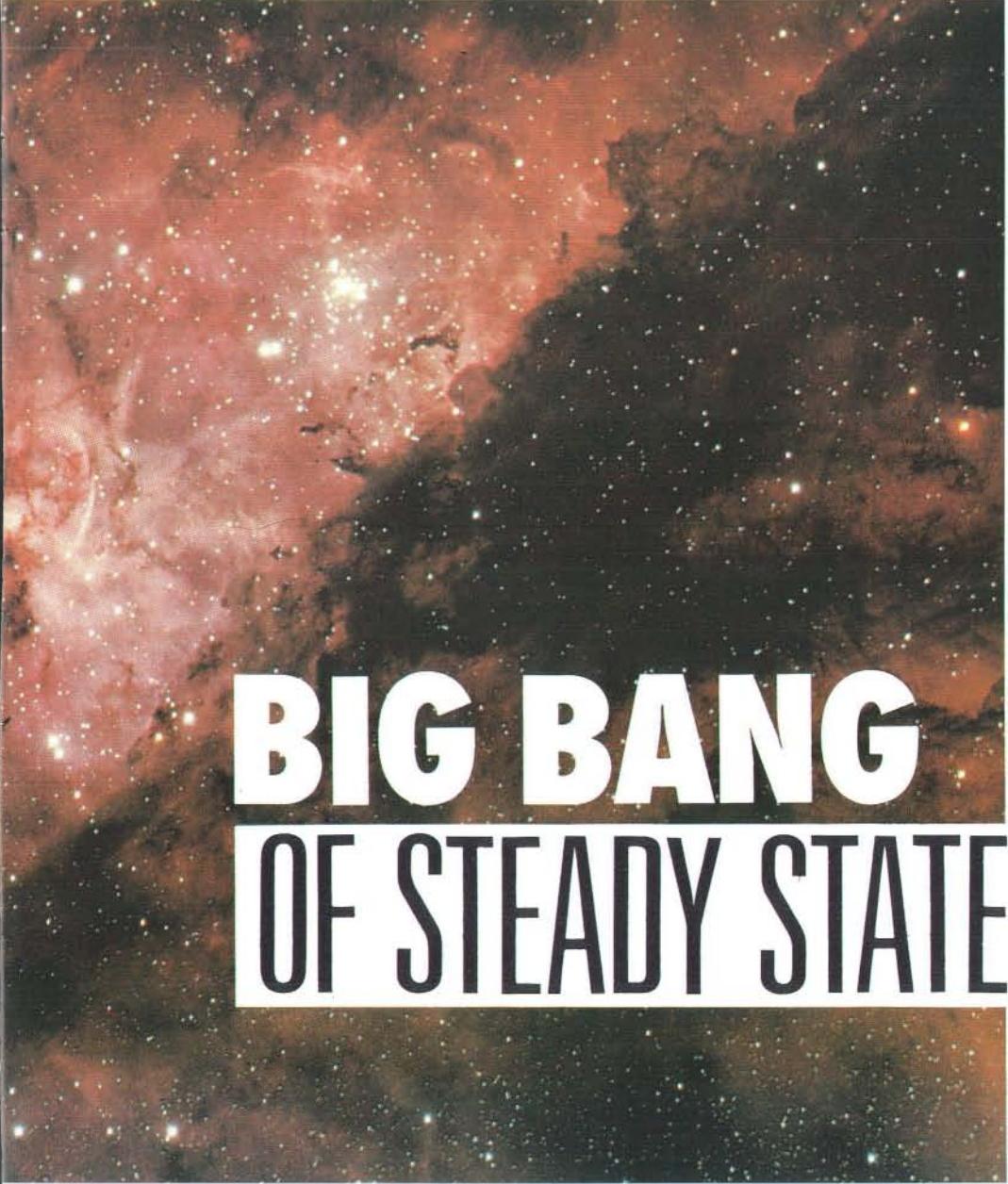
Is het heelal ontstaan in één grote klap, de oerknal die zo'n 15 miljard jaar geleden plaatsvond, of is het er altijd al geweest zoals het nu is? Onder sterrenkundigen vindt de oerknaltheorie de meeste aanhangers en zij lijken ook de beste papieren te hebben: De uitdijing van het heelal en het bestaan van de kosmische achtergrondstraling zijn hun sterkste troeven. Niettemin is een aantal astronomen er niet van overtuigd dat deze verschijnselen noodzakelijk terug te voeren zijn op een oerknal. Zij komen met andere verklaringen voor bijvoorbeeld de achtergrondstraling.

**EURO**  
ARTIKEL

De nevel rond de ster Eta Carina bestaat uit oplichtend gas en stof. Veel van de energie die Eta Carina uit-

zendt wordt door de nevel geabsorbeerd en weer uitgezonden als infrarode straling.





# **BIG BANG OF STEADY STATE**

**Fred Hoyle**

**Chandra Wickramasinghe**

*Department of Applied Mathematics and Astronomy*

*University College*

*Cardiff*



Al twintig jaar lang geloven astronomen dat het heelal op explosieve wijze is ontstaan in een 'oerknal' die ongeveer 15 miljard jaar geleden plaatsvond. De sterkste aanwijzing voor deze aanname is het bestaan van *kosmische achtergrondstraling*, een zee van fotonen in het microgolfvlengtegebied, dus met een golflengte in de orde van millimeters, waarin de aarde blijkt te baden. Die achtergrondstraling geldt als een soort nagalm van de oerknal.

Uit ons onderzoek aan de eigenschappen van kosmische stofdeeltjes, in het bijzonder naaldvormige ijzerdeeltjes, is gebleken dat er voor deze straling misschien een andere verklaring te vinden is dan de algemeen aanvaarde oerknalhypothese. In dit artikel geven we een overzicht van de ontwikkelingen die hebben geleid tot de heersende opvattingen in de kosmologie, waarbij we aangeven waarom de algemeen aanvaarde ideeën wel eens onjuist kunnen zijn.

### De oerknal

Vanaf het vroegste verleden hebben mensen zich beziggehouden met vragen als: hoe en wanneer is het heelal ontstaan, waaruit bestaat het en hoe ziet het er in zijn geheel uit? De meeste oude wereldbeschavingen – de Egyptische, de Chinese, de Indische en de Griekse – hebben hierover hun eigen ideeën ontwikkeld. Veel grote wereldgodsdiensten geven antwoorden op dergelijke vragen; aan deze religieuze opvattingen wordt vaak zeer strikt vastgehouden. In dat licht is het niet opmerkelijk om te zien hoe zelfs in de moderne kosmologie de aanhangers van bepaalde kosmologische theorieën zich erg star en onbuigzaam kunnen opstellen.

In bijna alle oude kosmologische theorieën bevond de aarde zich in het middelpunt van de wereld. Ongeveer vier eeuwen geleden, te beginnen met Copernicus, begon men duidelijk af te wijken van dergelijke modellen en werd in de opvattingen over het heelal het middelpunt verlegd van de aarde naar de zon. Sinds die tijd zijn de grenzen van de astronomie en de kosmologie steeds verder verlegd.

Als we een foto van een deel van de melkweg, 'ons' melkwegstelsel waartoe de zon behoort, bekijken, zien we duidelijk plekken waar de sterren verduisterd worden door wolkend interstellair stof (afb. 1). Zulke interstel-



1

laire stofwolken komen algemeen voor in ons melkwegstelsel. Ze zijn zichtbaar doordat ze het licht van sterren absorberen en de aldus opgenomen energie weer uitstralen in de vorm van straling met een langere golflengte: infrarode straling. Afbeelding 4 is een foto van een spiraalvormig sterrenstelsel buiten ons melkwegstelsel, van opzij gezien. Op de foto is een stofbaan te zien die door het centrale middenloopt. Die stofbaan is ook te zien als we een dergelijk stelsel van boven bekijken (afb. 3). Deze afbeeldingen lijken veel op het beeld dat ons eigen melkwegstelsel zou opleveren als we het van veraf zouden bekijken. Algemeen wordt aangenomen dat dergelijke stofdeeltjes niet alleen binnen sterrenstelsels zijn te vinden, maar dat ze ook voorkomen in de ruimte tussen de stelsels.



2



2

Ongeveer 70 jaar geleden zag men in dat formaties zoals de Sombreroonevel in het sterrenbeeld Maagd, sterrenstelsels zijn die buiten onze eigen melkweg liggen. Dit inzicht was in hoofdzaak te danken aan het werk van de Amerikaanse astronoom Edwin P. Hubble. Hubble bracht als eerste het bestaan van dergelijke stelsels in verband met de structuur van het heelal als geheel. Door het Dopplereffect in de spectraallijnen van ver verwijderde sterrenstelsels te bestuderen, kon hij laten zien dat de snelheid waarmee een melkwegstelsel zich van ons verwijderd recht evenredig is met de afstand tot de aarde. Al gauw ontstond het beeld van een uitdijend heelal, een heelal waarin alle sterrenstelsels zich van elkaar verwijderen met snelheden die toenemen naarmate hun onderlinge afstand groter is.

1. Een deel van ons melkwegstelsel. De donkere wolken op de foto tonen aan dat in dit deel van de melkweg grote concentraties stof voorkomen.
2. Edwin P. Hubble (1889-1953) toonde als eerste aan dat een belangrijk deel van de nevels in het heelal buiten ons melkwegstelsel liggen en dat de melkweg maar één van vele melkwegstelsels is. Tevens wist hij een verband te leggen tussen de Doppler-verschuiving in het spectrum van sterren(stelsels), de snelheid waarmee ze zich van ons afbewegen en de afstand waarop ze staan.
3. Een spiraalnevel in de Grote Beer. Dit stelsel bestaat uit miljarden sterren, die in een typische spiraalvorm zijn gerangschikt. In de spiraal zijn donkere stofwolken te herkennen.

De waarneming van Hubble dat veraf gelegen sterrenstelsels zich het snelst van ons verwijderen, had de indruk kunnen wekken dat we weer moesten terugkeren naar het soort heelal uit de tijd van vóór Copernicus, met ons melkwegstelsel op een bevoordeerde plaats in het middelpunt van alles. Zover kwam het echter niet, want al snel werd duidelijk dat dit probleem was op te lossen met behulp van de relativiteitstheorie van Einstein. Toepassing daarvan resulteerde in een model van het heelal waarin elk afzonderlijk sterrenstelsel zich niet alleen van ons verwijderd, maar ook van elk ander sterrenstelsel, onafhankelijk van het punt van waaruit je kijkt. Een eenvoudige analogie die soms wordt gebruikt om dit te verduidelijken, is die van een rijzend krentenbrood. Vanuit elke krent (sterrenstelsel) gezien verwijderen de andere krenten (sterrenstelsels) zich.

Als we in gedachten dit proces omkeren, zou het heelal ongeveer 15 miljard jaar geleden verdicht moeten zijn geweest tot één enkel punt, een *singulariteit*. Hieruit volgt het idee dat het heelal op één tijdstip moet zijn ontstaan. Zo komt men tot het oerknalmmodel, dat voor het eerst werd geformuleerd in 1922 door de Russische wiskundige Alexander Friedman.

Dit model houdt in dat alles wat het heelal tegenwoordig omvat – materie en straling – ongeveer 15 miljard jaar geleden is ontstaan in een ‘vuurbal’ waarvan de dichtheid bijna on-

3



## De oerknal en de kosmische achtergrondstraling

De meeste sterrenkundigen denken dat het heelal zo'n 10 tot 20 miljard jaar geleden is ontstaan in een oerkrak, bij een, in principe, oneindig hoge temperatuur. Sinds dat moment dijt ons heelal steeds verder uit, terwijl de temperatuur steeds verder daalt. De uitzetting van het heelal wordt afgeremd door de aantrekende werking van de zwaartekracht van alle materie van het heelal. Als er genoeg materie is, en dus een grote zwaartekracht, kan dat betekenen dat die expansie op de lange duur verandert in een ineensstorting. Het is echter niet bekend of er daarvoor voldoende materie bestaat.

De veronderstelling dat het heelal uitzet is gebaseerd op een drietal waarnemingen: de snelheid waarmee verre sterrenstelsels zich van ons af bewegen, de vorming van lichte elementen en de kosmische achtergrondstraling.

Verre sterrenstelsels lijken zich van ons af te bewegen met een snelheid die recht evenredig is met hun afstand tot ons. De wet van Hubble zegt dat deze snelheid verandert met  $75 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  per Mpc (1 Mpc = megaparsec = is ongeveer 3 miljoen lichtjaar, ofwel  $3 \cdot 10^{13} \text{ km}$ ). Deze vluchtbewegingen wordt afgeleid uit de spectra van de stelsels. Als gevolg van het Dopplereffect zijn deze naar het rood verschoven. De grootte van de roodverschuiving is een maat voor de snelheid waarmee een stelsel zich van ons af beweegt.

De vorming van lichte elementen is rond 1940 aangekaart door George Gamow. Hij realiseerde zich dat in de eerste seconden van het bestaan van het heelal overal de omstandigheden geheerst moeten hebben, die je nu alleen in de kernen van sterren aantreft. Bij temperaturen tussen de 100 miljoen en 10 miljard graden fuseren daar waterstofkernen tot deuterium-, helium- en lithiumkernen. Daarbij komt de energie vrij die de sterren doet stralen en voor zoveel druk zorgt dat ze niet onder invloed van hun eigen gewicht instorten. Men gaat ervan uit dat na ongeveer tien seconden de temperatuur van de vuurbal zover gedaald was dat de kernversmelting tot staan werd gebracht. In die periode zou ongeveer 25% van de oorspronkelijk aanwezige waterstofkerken omgezet zijn.

Men kan nu narekenen of er in het heelal voldoende waterstof over is, om, in overeenstemming met het idee van een expanderend heelal, de sterrenstelsels en clusters die we kennen thans te vormen. Hoewel het resultaat laag lijkt, één waterstofatoom per  $10 \text{ m}^3$ , is de dichtheid voldoende om de ons bekende sterren te kunnen vormen.

Vanuit het heelal komt ook straling die niet afkomstig is van sterren. Deze straling is in alle richtin-

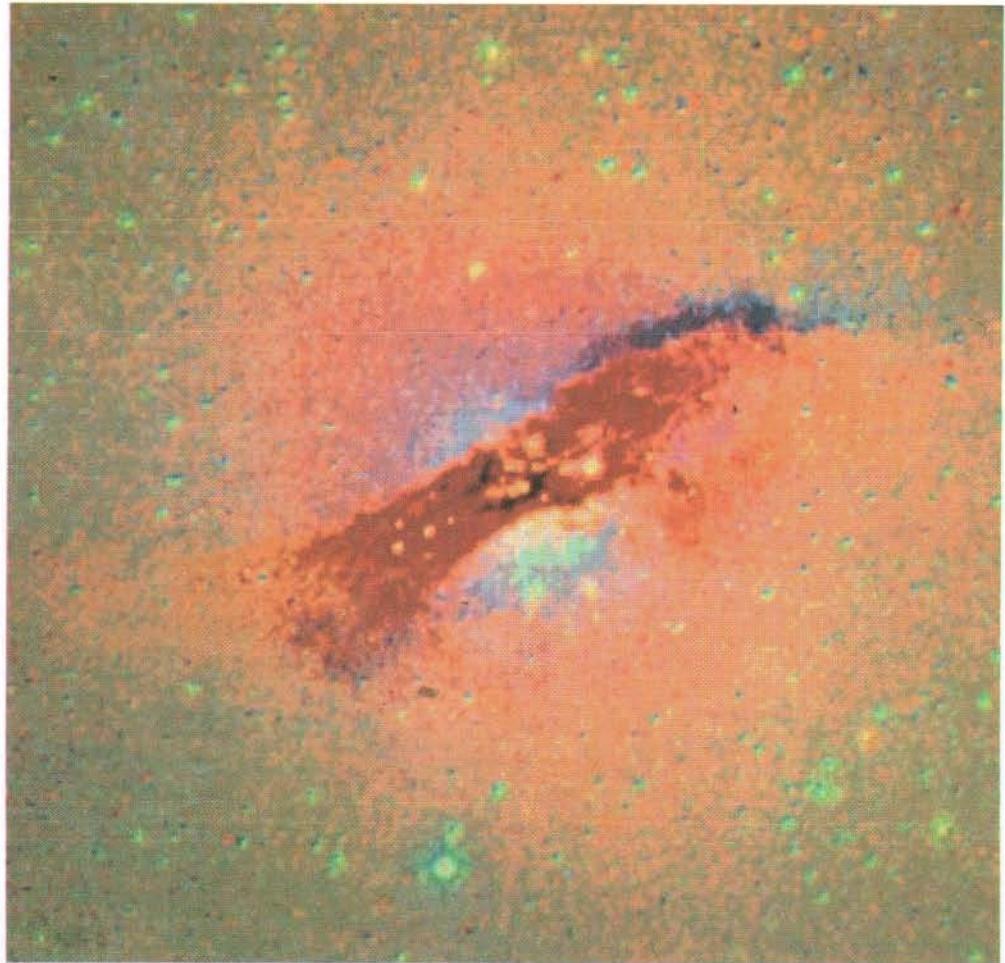
gen even sterk. De verdeling van de stralingsenergie over de verschillende golflengten heeft de karakteristieke vorm van een Planckspectrum, dat is het spectrum van een zwarte straler bij een bepaalde temperatuur. De gemiddelde energie van de fotonen van de achtergrondstraling komt overeen met een temperatuur van 3 K. Algemeen wordt deze straling beschouwd als het nagloeien van het heelal na de oerkrak en ze geldt als de belangrijkste bevestiging van de theorie van de oerkrak en het vervolgens expandende heelal.

De achtergrondstraling moet zijn ontstaan toen het heelal ongeveer één miljoen jaar oud was. Voor die tijd waren alle atomen in het heelal geïoniseerd. Positief geladen kernen en negatief geladen elektronen vlogen los van elkaar in het rond. Toen de temperatuur van het heelal onder de  $10^4 \text{ K}$  zakte werden steeds meer elektronen door kernen gebonden; elektrisch neutrale atomen ontstonden. Vrije elektronen hebben de eigenschap dat ze elektromagnetische straling, bijvoorbeeld licht, zeer effectief kunnen verstrooien. Fotonen die tegen een vrij elektron botsen, ondergaan een verandering van de bewegingsrichting. Elektronen die zijn opgenomen in een atoom verstrooien geen licht meer. Naarmate meer elektronen aan atomen gebonden werden, werd het heelal steeds doorzichtiger; als het ware trok de mist op. Dit proces was voltooid toen de temperatuur tot zo'n 4000 K was gezakt. De fotonen die toen over waren hebben hun weg sindsdien vrijwel ongehinderd vervolgd. Zij vormen nu de kosmische achtergrondstraling.

De fotonen die toen nog over waren, hebben sindsdien hun weg vervolgd en vormen de kosmische achtergrondstraling. Ook deze straling is verschoven naar langere golflengten als gevolg van de expansie van het heelal. Dit kan men opvatten als het 'afkoelen' van de fotonen van 4000 K, omdat bij lagere temperaturen de straling in een Planckspectrum naar langere golflengten en lagere energieën verschuift.

Samen met de theoretische voorspelling van een uitdijend heelal uit de algemene relativiteitstheorie vormen deze drie waarnemingen een stevige basis voor het idee van een oerkrak. Al zijn er nog de nodige details die niet zijn begrepen, toch hangen vrijwel alle sterrenkundigen deze theorie aan. Er zijn althans geen waarnemingen bekend die ermee in strijd zijn.

**Dr A. Achterberg**  
Sterrekundig Instituut  
Rijksuniversiteit Utrecht



4

4. Een fraaie opname van Centaurus A, een sterrenstelsel op ongeveer 15 mil-

joen lichtjaar. Dit stelsel wordt omgeven door dicht stof dat is geconcentreerd

in een soort gordel om het sterrenstelsel heen.

eindig groot geweest moet zijn (zie Intermezzo I). We kunnen ons afvragen wat voor bewijzen er voor dit model te vinden zijn in de waarnemingen die heden ten dage gedaan kunnen worden.

De in Rusland geboren Amerikaanse astro-noom George Gamow en zijn collega's waren de eersten die halverwege de jaren veertig onderzoek deden om een antwoord op deze vraag te vinden. Gamow hield zich hoofdzakelijk bezig met het probleem van het ontstaan van de chemische elementen. De omstandigheden die kort na de oerknal moeten hebben geheerst,

toen het heelal een paar minuten oud was en de temperaturen rond de  $10^9$  K lagen, leken ideaal voor de vorming van deuterium- en heliumkernen uit protonen en neutronen, door middel van kernfusie. En misschien kon ook de vorming van een aantal andere elementen op die manier worden beschreven.

In de jaren veertig wisten astrofysici al dat dergelijke fusieprocessen plaatsvinden in het binneste van sterren, waar de dichthesen en temperaturen ook zeer hoog zijn. Aangenomen wordt dat in het allereerste begin van het heelal dergelijke omstandigheden op een veel

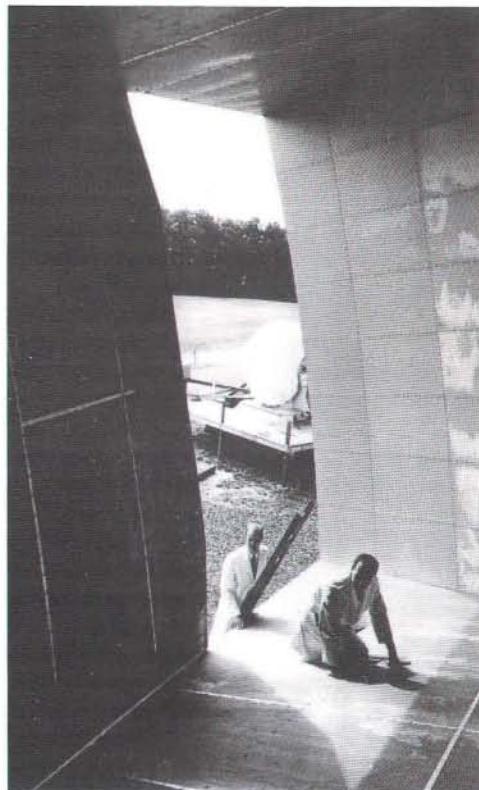
grottere schaal hebben geheerst. Hoewel Gamow geloofde dat de meeste belangrijke elementen op deze manier tijdens de oerknal konden zijn gevormd, hebben latere berekeningen aangetoond dat dat alleen geldt voor deuterium ( $^2\text{H}$ ), helium (He) en misschien lithium (Li). Deuterium of zware waterstof is overigens geen element in de strikte zin van het woord; het is een waterstofisotoop met één proton en één neutron in de kern. De vorming van zwaardere elementen vond later plaats, diep binnendoor in de sterren, zoals rond 1950 werd voorgesteld door Fred Hoyle, William Fowler, en Geoffrey en Margaret Burbidge.

### Oerstraling

Men neemt aan dat het vroege heelal in de tijd waarin  $^2\text{H}$  en He voor het eerst werden gevormd, baadde in straling die overeenkomt met die van een zwart lichaam met een temperatuur van één miljard Kelvin. In dit stadium was het heelal ondoorzichtig, omdat de foto's van de straling werden verstrooid door elektronen.

Aangetoond kon worden dat alle oerstraling die aanwezig is geweest, door het uitzetten van het heelal zodanig moet zijn afgekoeld dat het

5

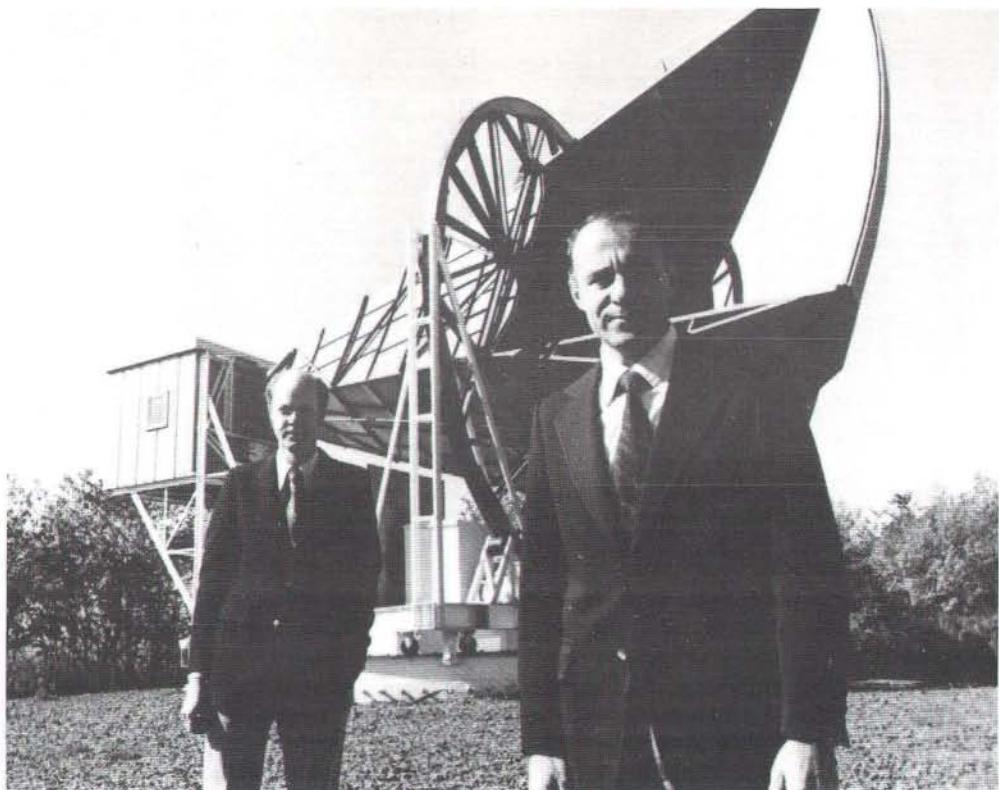


6



5. Een ringvormige nevel in het sterrenbeeld Lier. Deze bestaat uit de weggeblazen restanten van de buitenste lagen van een ster die in een supernova is geëindigd.

6 en 7. Arno Penzias (rechts op beide foto's) en Robert Wilson voor en in de hoornantenne van Bell Telephone Laboratories, waarmee ze de 3 K-kosmische achtergrondstraling ontdektten. Nadat ze alle denkbare storingen hadden geëlimineerd bleven ze straling in het microgolfgebied meten, waardoor de conclusie onontkoombaar werd dat deze een kosmische oorsprong heeft.



7

karakter van zwart-lichaamstraling behouden bleef. In de 15 miljard jaar die inmiddels verstreken zijn, zou de temperatuur van die straling gedaald moeten zijn beneden de 10 K. Dit was een zeer duidelijke voorspelling op grond van het oerknalmmodel en ze was al geuit toen in 1965 de eerste aanwijzingen werden gevonden dat er een achtergrondstraling van laag-energetische microgolfstraling bestaat die het heelal helemaal vult.

Veel eerder, al in 1948, hadden Fred Hoyle, Thomas Gold en Hermann Bondi gesteld dat het in die tijd beschikbare astronomische bewijsmateriaal niet noodzakelijkerwijs inhield dat het oerknalmmodel juist is. Deze astronomen opperden dat het heelal misschien altijd heeft bestaan, in ongeveer dezelfde gedaante en verschijningsvorm als waarin het tegenwoordig bestaat. Er was geen logische noodzaak voor een begin of een einde, waardoor het beeld van een heelal ontstond dat zich in grote lijnen in een stationaire toestand be-

vindt. Dit model van het heelal wordt het *steady-statemodel* genoemd.

Als je er van uitgaat dat dit model juist is, dan moet de materie gevormd zijn uit een energieveld, en wel zodanig dat de ruimten die ontstaan door het uitdijen van het heelal worden opgevuld. Naarmate de sterrenstelsels uitzetten en zich verder van elkaar af bewegen, moet 'nieuw' materiaal worden gevormd om de open plaatsen op te vullen. Anders is er geen sprake van een steady state. Geschat wordt dat de benodigde vormingssnelheid van nieuwe materie in de orde moet liggen van de vorming van een massa ter grootte van één waterstofatoom in een volume dat overeenkomt met een flinke garage, per 1000 jaar. Dat is een zeer lage vormingssnelheid.

Vanaf 1950 werden de twee concurrerende kosmologische modellen, het oerknalmmodel en steady-statemodel, steeds kritischer bekeken. In het begin van de jaren zestig leek onderzoek van Martin Ryle en zijn collega's, die met be-

hulp van radiotelescopen de verstuurdste sterrenstelsels bestudeerde, uit te wijzen dat het heelal in het verre verleden een iets grotere dichtheid heeft gehad dan tegenwoordig. Deze waarneming past beter in het oerknalmmodel dan in het steady-state-model. Uit meer recente waarnemingen die kort geleden nauwkeuriger zijn geanalyseerd door Jayant Narlikar, Geoffrey Burbidge en hun collega's, blijkt echter dat Ryle's conclusie waarschijnlijk niet juist is. Het bewijsmateriaal dat eind 1960 werd gebruikt als bewijs tegen het steady-state-model, lijkt dus grotendeels te zijn achterhaald.

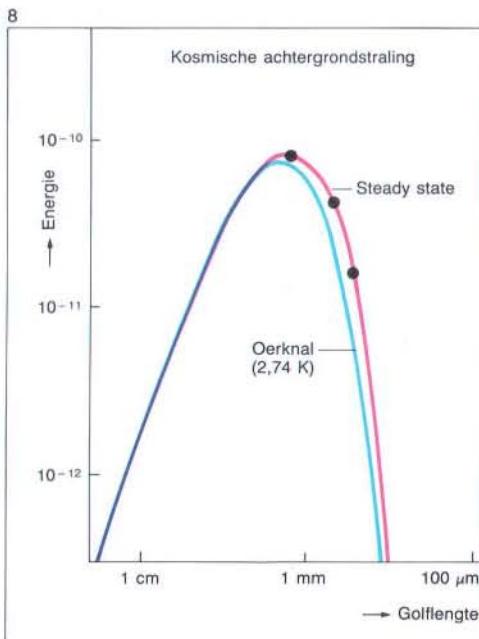
### Achtergrondstraling

Een waarneming waarvan in de tussenliggende jaren niet is gebleken dat zij onjuist is, was de toevallige ontdekking van de kosmische achtergrondstraling door Arno Penzias en Robert Wilson in 1965. Deze achtergrondstraling komt overeen met de temperatuur van een zwart lichaam van 2,7 Kelvin. De straling bleek uit alle richtingen van de hemel te komen met vrijwel gelijke intensiteit.

Deze waarneming werd onmiddellijk geïnterpreteerd als een overblijfsel van de hitte die vrijkwam bij de oerexplosie waarbij het heelal



9



ontstond, zo'n 15 miljard jaar geleden. Zij kwam goed overeen met de voorspelling van Gamow. Men dacht toen dat de concurrerende theorieën over het ontstaan van het heelal onmiddellijk overboord konden worden gegooid. Langzamerhand is dit geloof toegenomen en kosmologen zijn de kosmische achtergrondstraling gaan beschouwen als het definitieve en onweerlegbare bewijs voor de oerknal. Toch zullen we zien dat het bestaan van deze straling geen definitief uitsluitsel biedt.

Er is geen twijfel over het bestaan van de achtergrondstraling zelf, maar de interpretatie die zegt dat de straling een overblijfsel is van de oerknal, is niet bewezen en er kleven aan deze interpretatie ook een paar essentiële fouten. Eén van de problemen is dat de kosmische achtergrondstraling zo verbazingwekkend uniform verdeeld is over de hemel. Als deze straling inderdaad zou zijn ontstaan door de oorspronkelijke oerknal, zou de latere vorming van clusters van sterrenstelsels waarneembare,



8. Een vergelijking van de Planckkrommen die voortvloeien uit de oerknaltheorie (blauw) en die van de steady-state theorie (rood). Bij het tekenen van de laatste is uitgegaan van onze theorie dat de achtergrondstraling wordt veroorzaakt door naaldvormige ijzerdeeltjes. Wat opvalt is dat verschillende metingen van Japanse astronomen (stippen) beter met ons model overeenstemmen, dan met de oerknaltheorie.

9. Deze opname van de Trifidnevel biedt een fraaie illustratie van de manier waarop interstellaire gas-en stofwolken golflengten van sterren veranderen. Het blauwe gebied licht in deze kleur op omdat er zeer hete sterren achter staan. Het rode gebied is rood omdat de sterren erachter wat koeler zijn.

onregelmatige sporen op die straling hebben moeten achterlaten. Naar die sporen is ijverig gezocht, maar gevonden zijn ze niet. Dit zou inhouden dat de achtergrondstraling door het een of andere proces is gladgestreken en pas ontstond na de verdichting van materie tot sterrenstelsels. Natuurlijk betekent het *bestaan* van kosmische achtergrondstraling niet noodzakelijkerwijs dat deze kort na de geboorte van het heelal ontstond. Sterren die nu stralen en sterren die in het nabije verleden straalden, produceerden en produceren golflengten met zichtbare en ultraviolette golflengten. Dergelijke straling kan heel goed zijn veranderd in infrarode golflengten met een langere golflengte.

### Stralend stof

Astronomisch onderzoek gedurende de laatste twintig jaar heeft aangetoond dat er vele duizenden infraroodbronnen bestaan die hun oorsprong vinden in stofwolken die zich rondom

sterren bevinden. De stofdeeltjes absorberen de energie van het sterrenlicht, worden warm en stralen deze energie weer uit als infrarode straling. Hoe kouder de stofkorreltjes zijn, des te langer zijn de golflengten van de uitgezonden achtergrondstraling. Zoals we al zagen bestaat de massa van veel sterrenstelsels voor een belangrijk deel uit stof. Uit onderzoek met behulp van infraroodsatellieten zoals IRAS, is gebleken, dat veel van deze sterrenstelsels aanzienlijk meer infrarode straling dan zichtbaar licht uitzenden. Hier moet wel uit volgen dat stofdeeltjes in deze sterrenstelsels een groot deel van de oorspronkelijke straling van de sterren hebben geabsorbeerd en deze opnieuw uitstralen in de vorm van infrarode golflengten.

Als we de kosmische achtergrondstraling niet met de oerknaltheorie willen verklaren, maar met behulp van astrofysische processen die zich *nu* afspeLEN, zouden we een kosmisch stofdeeltje moeten ontdekken dat dergelijke, uit sterrenstelsels afkomstige infrarode straling absorbeert, terwijl het deze straling weer uitzendt bij nog langere golflengten. Deze golflengten zouden in het millimetergebied moeten liggen, in de buurt van de top van een 2,7 K Planckkromme (afb. 8). Enige jaren geleden merkten wij op dat er een opmerkelijke overeenkomst is tussen de grootte-orden van de energiedichtheid van de kosmische achtergrondstraling, de totale energiedichtheid van het sterrenlicht in ons melkwegstelsel, de energiedichtheid van de straling afkomstig uit de omzetting van waterstof in helium die in sterren wordt waargenomen en de energiedichtheid van kosmische straling. Dit betekent dat de energiedichtheid van straling die wordt opgewekt door de vorming van helium in sterren, groot genoeg is om uiteindelijk te worden omgezet in microgolven. Maar welk soort deeltje zou de infraroodstraler kunnen zijn?

Het soort stofdeeltje, waarvan algemeen wordt aangenomen dat ze in sterrenstelsels voorkomen, komt hiervoor niet in aanmerking. Deeltjes met een omvang in de orde van de golflengte van zichtbaar licht, absorberen en verstrooien zichtbaar licht heel efficiënt, maar ze absorberen straling met golflengten in de buurt van 1 mm heel slecht en stralen die ook nauwelijks uit. Een deeltje van ongeveer 0,1 μm is nu eenmaal een slechte antenne voor het uitstralen van golflengten die in de orde liggen van 10 000 mal zijn eigen omvang.

**Steady-state kosmologie**

Eén van de auteurs van bijgaand artikel, Fred Hoyle, is samen met Hermann Bondi en Thomas Gold één van de opstellers van een alternatief model van ons heelal: de *steady-state* kosmologie. Steady-state betekent letterlijk stationaire toestand. Deze theorie gaat ervan uit dat ons heelal steeds met dezelfde snelheid expandeert en altijd dezelfde dichtheid en samenstelling heeft gehad. Om verdunning van de materie als gevolg van de expansie te voorkomen, betekent dit dat er continu materie bijgemaakt moet worden. Dat is echter in strijd met één van de hoofdwetten van de natuurkunde: die van behoud van energie.

Een massa  $m$  vertegenwoordigt een bepaalde hoeveelheid energie volgens  $E = mc^2$ , waarin  $c$  de lichtsnelheid is. Als spontaan materie zou worden bijgemaakt, moet ook energie verdwijnen, maar er is geen aanwijsbare energiebron. De oerklontheorie voldoet wel aan de wet van behoud van energie. De totale hoeveelheid energie blijft constant, maar wordt over een steeds groter volume verdeeld, waarbij de dichtheid afneemt.

De steady-state kosmologie kent ook geen natuurlijke verklaring voor de kosmische achtergrondstraling. De in dit artikel voorgestelde theorie lijkt me een serieuze bedreiging voor de oerklontheorie.

Hoyle en Wickramasinghe stellen dat deze straling in feite sterrenlicht is, dat door stofdeeltjes is geabsorbeerd. Door die absorptie worden ze warmer en gaan ze stralen bij de langere golflengten van de kosmische achtergrondstraling.

Deze opvatting brengt het volgende probleem met zich mee. Alle sterren zitten verzameld in sterrenstelsels, die op hun beurt zijn gebundeld in clusters. Een aantal clusters vormt samen weer superclusters. Hierdoor is de verdeling van de sterrenstelsels, en dus ook het daarin opgenomen stof, aan de hemel zeer onregelmatig. Je zou dan ook verwachten dat onregelmatige patronen terug te vinden zijn in de verdeling van de intensiteit van de achtergrondstraling. Een dergelijk patroon is echter niet gemeten; in feite is de achtergrondstraling gelijkmatig over de hemel verspreid.

Concluderend kan men daarom zeggen dat deze verklaring van de kosmische achtergrondstraling, samen met het achterliggende idee van de steady-state kosmologie en zijn schending van de wet van behoud van energie, meer vragen oproept dan zij beantwoordt.

**Dr A. Achterberg**  
Sterrekundig Instituut  
Rijksuniversiteit Utrecht

Om een Planckspectrum bij 2,7 K te leveren dat zo gelijkmatig is als de straling die Penzias en Wilson maten, zouden deze stofdeeltjes zo dicht opeengepakt moeten zijn, dat het heelal ondoorzichtig is voor millimeterstraling. Dat zou betekenen dat deeltjes met afmetingen kleiner dan 1  $\mu\text{m}$  volledig onzichtbaar zouden moeten zijn bij zichtbare golflengten. We zouden dan geen ver verwijderde sterrenstelsels kunnen zien, en dat kunnen we wel.

**IJzeren naaldjes**

Onze alternatieve verklaring van de kosmische achtergrondstraling dreigde mank te gaan, omdat er geen deeltjes te vinden waren die de achtergrondstraling kunnen uitzenden. Een begin van een oplossing diende zich aan toen we ons realiseerden dat er wel eens veel grafietdeeltjes in de vorm van lange naaldjes met lengten tot 1 mm of langer zouden kunnen voorkomen in het heelal. Met behulp van deze

10. Supernova's veroorzaken steeds uitdijende wolkensysteem, die naar verloop van tijd steeds ijler worden, als het materiaal zich gelijkmatiger over het heelal heeft verspreid. Naaldvormige stukjes ijzer, niet langer dan 1 mm, die in het vrijgekomen materiaal voorkomen, absorberen straling van sterren en zenden deze bij lagere golflengten weer uit. Dit biedt een verklaring voor de achtergrondstraling die past in de steady-state theorie.

10



deeltjes was het veel makkelijker om de energie van sterrenlicht om te vormen tot golflengten die in de orde van millimeters liggen. Maar nog steeds bleven er enige problemen over, in het bijzonder de extreme uniformiteit van de waargenomen achtergrondstraling. De elektrische eigenschappen van grafietnaaldjes waren niet helemaal geschikt voor ons doel.

Een grote doorbraak vond plaats toen we in het begin van vorig jaar op het idee kwamen dat er op kosmische schaal misschien veel naaldvormige stukjes ijzer voorkomen. Het element ijzer wordt hoofdzakelijk gevormd in kernreacties die optreden bij een supernova en we redeneerden dat de omstandigheden in dergelijke explosies geschikt zijn voor het verdichten van ijzer tot deeltjes die de vorm hebben van lange, dunne naalden. We hebben allerlei laboratoriumgegevens nageplozen om te kijken of naaldjes met een diameter van ongeveer  $10^{-5}$  cm en een lengte in de orde van 1 mm inderdaad onder deze omstandigheden kunnen worden gevormd.

Aangezien we weten dat er per sterrenstelsel gemiddeld eens in de dertig jaar een supernova voorkomt en dat in elke supernova ongeveer een tiende zonsmassa aan ijzer wordt gevormd, kunnen we de universele ijzerdichtheid

schattingen op ongeveer  $10^{-34}$  gram per  $\text{cm}^3$ . Het bestaan van deze hoeveelheid kosmisch ijzer in de vorm van naaldjes met een lengte van een paar millimeter, leidt tot resultaten die nauwkeurig kunnen worden berekend uit het bekende elektrische gedrag van onzuiver ijzer bij zeer lage temperaturen. We berekenden uit deze gegevens dat het heelal voor straling met golflengten in de orde van millimeters ondoorzichtig moet zijn, maar volledig doorzichtig voor licht en kortgolvige infraroodstraling. Zo zou de energie die vrijkomt bij de omzetting van waterstof in helium in sterren, die eerst wordt omgezet in infrarode straling, na absorptie door gewone stofdeeltjes (kleiner dan 1  $\mu\text{m}$ ) vervolgens verder omgezet kunnen worden in straling met nog langere golflengten als hetzelfde proces zich voltrekt aan ijzernaaldjes. Alle aspecten van de waargenomen kosmische achtergrondstraling, zoals de temperatuur van 2,7 K, de gelijkmatige verdeling en de uniformiteit worden dan verklaard op grond van een model dat nergens teruggringt op het ontstaan van het heelal.

Als deze overwegingen juist zijn, zou dit betekenen dat de stevigste pijler waarop de oer-knalkosmologie is gebouwd, is ingestort of op zijn minst aan het wankelen is gebracht.



Dit artikel verscheen eerder in het januari-nummer van het Duitse blad *bild der wissenschaft* en is voor ons vertaald door Riet Rutten-Vonk uit Deil.

#### Literatuur

- Achterberg A. Het uitdijende heelal. *Zenit* 1987; 14: 329.
- Hawking S. Het heelal. Amsterdam: Bert Bakker, 1988.
- Reeves H. De evolutie van het heelal. Amsterdam: Van Gennep, 1983.
- Weinberg S. De eerste drie minuten. Maastricht: Natuur en Techniek, 1983.

#### Bronvermelding illustraties

- Mt. Wilson Observatory: pag. 446-447, 1, 2, 3, 5.
- Rutherford Appleton Laboratory: 4.
- Bell Telephone Company: 6, 7.
- ESO, Garching: 10.

De chemische industrie richt zich steeds meer op het vervaardigen van relatief kleine hoeveelheden chemicaliën, waarvan dan een groot assortiment kan worden geleverd. Voor deze zogenaamde fijnchemicaliën gebruikt men multifunctionele reactoren, zoals dit complex dat bij DSM in Geleen staat. De glimmende tanks op de voorgrond zijn chemiciënlcontainers met uitgangsstoffen voor de reacties.



# Chemische

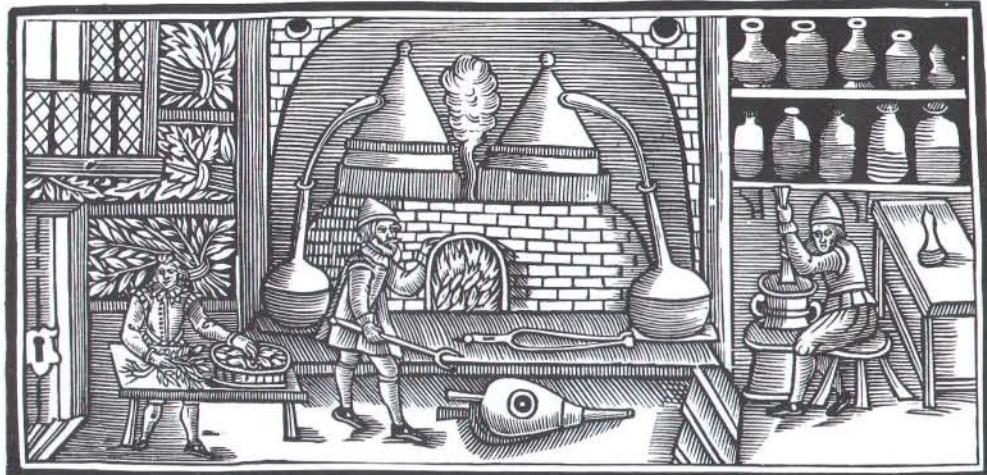
## REACTOREN



VAN  
KOOKPOT  
TOT  
FABRIEK

De moderne mens gebruikt duizenden produkten die langs chemische weg zijn gemaakt. De verzameling omvat geneesmiddelen, autolakken, kunstvezels en motorbenzenes. Deze produkten worden gemaakt in fabriksinstallaties die soms zo klein zijn dat ze in een woonkamer passen, maar in andere gevallen de afmetingen van een stadswijk hebben. Het hart van elke chemische fabriek is de reactor: het apparaat waarin grondstoffen reageren tot hoogwaardige produkten. Er bestaat een grote verscheidenheid aan reactoren, en er is een nog veel grotere verscheidenheid chemische reacties die daarin worden uitgevoerd. Gelukkig is er een systematiek te herkennen in de veelheid van chemische reactoren, die terug te voeren is tot een klein aantal grondprincipes. Deze betreffen met name de wijze van het in contact brengen van de reagende stoffen en de wijze van temperatuurbeheersing.

D. Thoenes  
Technische Universiteit  
Eindhoven



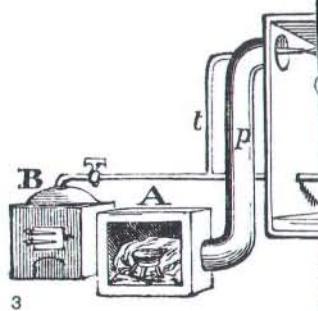
1

Het gebruik van vuur is bijna zo oud als de mensheid. De meest primitieve mensen gebruikten al houtvuren om zich te warmen en om vlees boven te roosteren. Veel later, maar nog steeds in voorhistorische tijden, ontdekte de mens dat hij de hitte van het vuur kan gebruiken om uit grondstoffen produkten met andere eigenschappen te maken. Zo zouden wij het pottenbakken de oudste chemische techniek kunnen noemen, en aardewerk de eerste kunststof. In later eeuwen ontdekten onze voorouders een nieuwe groep kunststoffen: de metalen. Die bleken te ontstaan wanneer men bepaalde 'stenen' op een heet houtskoolvuur legde. Zo ontstond brons uit erts en die toevallig koper en tin bevatten. Het nieuwe materiaal werd gebruikt voor eetgerei en sieraden. Toen men op soortgelijke wijze ook ijzer kon maken, bood dat nieuwe mogelijkheden om gereedschappen, wapens en landbouwwerktuigen te maken, waardoor het leven van de mens ingrijpend veranderde.

Voor deze chemische processen waren eigenlijk nog geen speciale reactoren nodig. Een open houtvuur, niet door wanden begrensd, volstond, omdat men overwegend met reacties tussen vaste stoffen en lucht te maken had.

Ongeveer 4500 jaar geleden werden zowel in Egypte als in Mesopotamië al glassoorten gemaakt. Voor het maken van glas had men zand en kalksteen nodig, en soda, dat in bepaalde woestijngebieden werd gevonden. Het chemische proces is al wat ingewikkelder: bij

1 en 2. Het retort, de destillatiekolf, was vroeger het symbool van de chemicus. Op houtscheden en gravures uit de renaissance (1) en de zeventiende eeuw (2), zien we dit belangrijke instrument van de alchemist en de chemicus steeds weer afgebeeld.



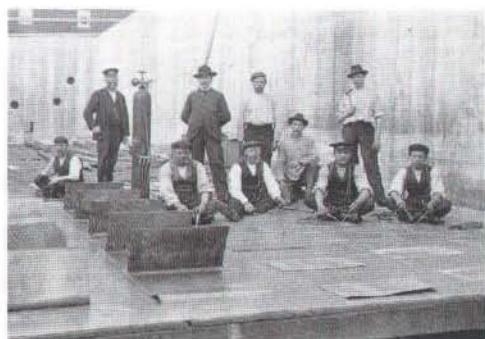
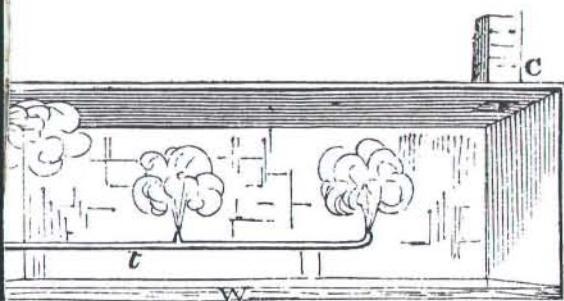
3

verhitting van de gemengde bestanddelen ontstaat een smelt die moet worden geroerd. De kookpotten die men daarvoor gebruikte zijn vermoedelijk de oudste chemische reactoren. De biotechnologie is echter ook erg oud. De oude Egyptenaren kenden al bier en wijn, dat ze maakten door vergisting van suikerhoudende vloeistoffen. De bereiding van zeep stamt uit het begin van onze jaartelling en is vooral door de Romeinen op grote schaal toegepast. De verzeping speelt zich in een vloeistof af en er is dus een reactor voor nodig.

Zo zien we hoe de chemische techniek eigenlijk altijd dezelfde doelen en middelen heeft gehad: het maken van nieuwe materialen, voedings- en genotmiddelen, en cosmetica, met gebruik van reactoren, die aanvankelijk trekkelijker eenvoudig van constructie waren.



2



4

### Loden kamers

Het duurde tot in de Middeleeuwen voordat de vindingen uit het Midden-Oosten en Azië tot Europa doordrongen. De middeleeuwer leerde hoogwaardig glas te maken, waardoor de ontwikkeling van glazen destillatietoestellen mogelijk werd. Daardoor kon men niet alleen sterke drank bereiden, maar ook anorganische zuren, zoals zwavelzuur en salpeterzuur. Dit was weer een stap voorwaarts. Men kon nu verbindingen die in kleine hoeveelheden in een evenwichtsreactie ontstaan (een zuur uit een zout en water) toch isoleren, door deze over te voeren in de dampfase en buiten het reactievat te condenseren. Dat is het principe van de destillatie. Het retort is niet voor niets lange tijd het symbool van de chemicus geweest.

Ook in de metallurgie ontstonden nieuwe reactorvormen. De belangrijkste was ongetwijfeld de hoogoven. Hier was een ingenieuze constructie nodig om een gerichte luchtstroom door een bed van kool- en ertsbrokken te kunnen leiden. Wanneer de lucht bovendien werd aangeblazen kon een temperatuur worden bereikt die hoog genoeg was om staal te maken. Dit nieuwe materiaal bood door zijn grote sterkte velerlei nieuwe toepassingen, vooral in de bouwtechnologie.

Het duurde toch tot de achttiende eeuw voordat de chemische techniek de kenmerken van een industrie kreeg. Eén van de belangrijkste reactorkundige ontwikkelingen uit die dagen was de *loden kamer*, voor de bereiding van zwavelzuur. In een met lood beklede kamer van omstreeks 10 m<sup>3</sup> stond een schaal op

poten, waarop men een mengsel bracht van zwavel en salpeter ( $\text{KNO}_3$ ). Dat werd aange-  
stoken. Het gevormde zwaveltrioxyde ( $\text{SO}_3$ ) werd geabsorbeerd in een laag water op de vloer van de kamer. Zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ) en nitreuze dampen ( $\text{NO}$  en  $\text{NO}_2$ ) werden nauwelijs geabsorbeerd. Door steeds nieuwe porties zwavel en salpeter aan te steken, werd op den duur een partij vrij geconcentreerd (60%) zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) verkregen. Het duurde wel een paar weken voordat men enkele honderden liters zwavelzuur had. Hoewel de productie per eenheid van volume en per tijdseenheid naar onze huidige opvattingen wel erg laag was, zien we hier toch enkele belangrijke nieuwe reactorkundige principes toegepast. Verdamping en absorptie tijdens de reactie zijn de voornaamste, waardoor men een gewenst product betrekkelijk zuiver in handen kreeg. Ook het corrosieprobleem, inherent aan het gebruik van metalen vaten als reactoren, was bevredigend opgelost.

### De industriële revolutie

In het midden van de vorige eeuw vonden er twee revoluties plaats in de chemische techniek: er werden zulke belangrijke ontdekkingen gedaan in de chemie, dat grote aantallen nieuwe produkten (bijvoorbeeld kleurstoffen) industrieel konden worden vervaardigd. Daarnaast vond schaalvergroting plaats. Een andere belangrijke nieuwe ontwikkeling was de toepassing van *continue processen*. Tot die tijd werden vrijwel alle chemische processen portiegewijs uitgevoerd in zogenaamde *batchprocessen*. Na elke produktielading werd de reactor afgetapt, eventueel schoongemaakt en opnieuw met grondstoffen gevuld. In een continu proces voegt men de grondstoffen voortdurend toe en tapt de produkten voortdurend af. In de tijd gezien blijven alle concentraties gelijk en alle stofstromen even groot. Een eenvoudig voorbeeld van een natuurkundig batchproces is het opwarmen van water in een ketel op het gassetel; de gasgeiser is de continue uitvoering daarvan.

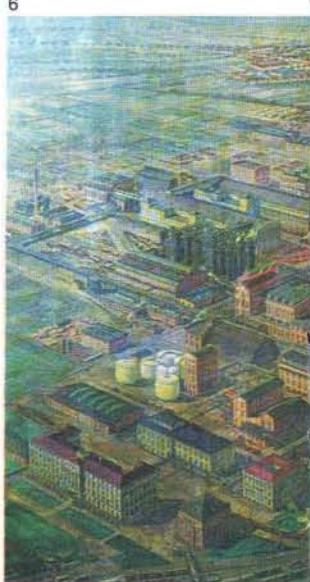
Eén van de eerste en tevens belangrijkste continue reactoren die in het midden van de vorige eeuw werden ontwikkeld is de *carbonatatiorens* voor het sodabereidingsproces van Solvay. Dit proces werd in 1861 voor het eerst technisch toegepast en wordt vandaag nog op



5

5 en 6. Ammoniaksynthese vindt, sinds zij industrieel wordt toegepast, plaats volgens het Haber-Boschproces. De fabricage is echter steeds grootschaliger geworden en geoptimaliseerd. Het aanzien van de fabrieken en de gebruikte constructies is daardoor ingrijpend veranderd. De eerste ammoniakfabriek stond in 1913 op het BASF-complex in Oppau. De reactietorens staan in het midden op de achtergrond. Een moderne ammoniakfabriek is gefotografeerd op het terrein van DSM in Geleen.

6



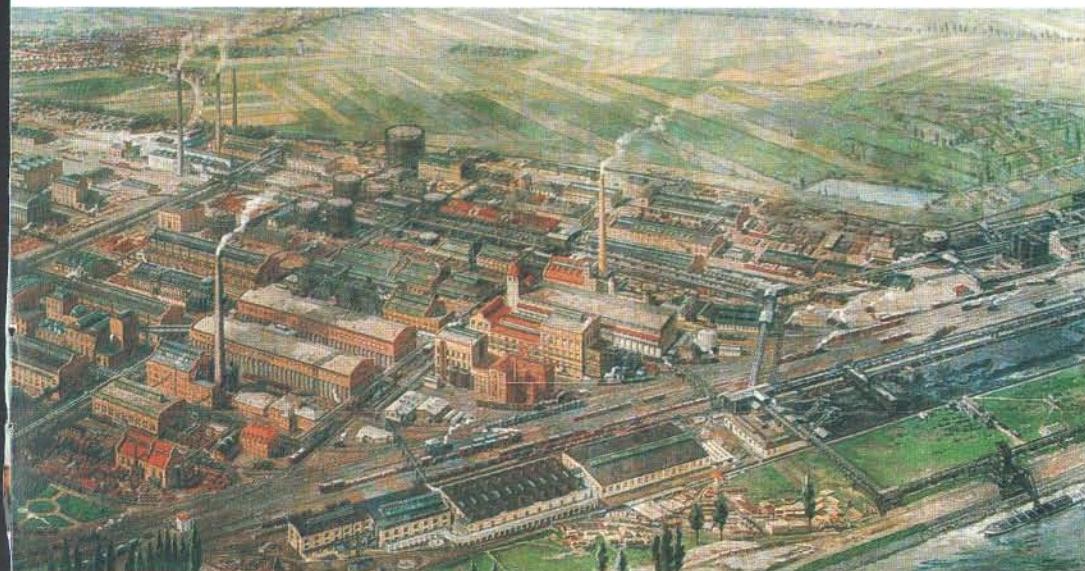


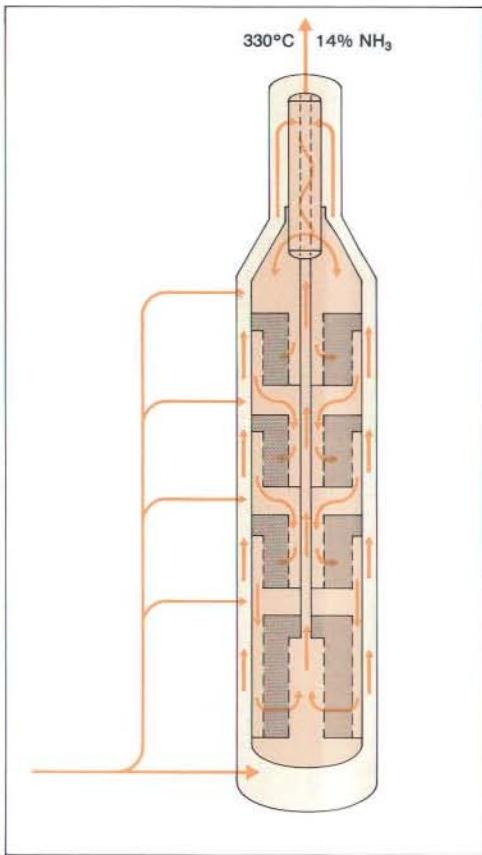
ongeveer dezelfde wijze uitgevoerd. In de reactor worden een ammoniakale zoutoplossing en koolstofdioxide-houdende lucht in tegenstroom met elkaar in contact gebracht. De vloeistof stroomt omlaag en het gas omhoog. Het koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) wordt in de vloeistof geabsorbeerd. Onder de reactie-omstandigheden in de sodabereiding slaat natriumwaterstofcarbonaat ( $\text{NaHCO}_3$ ) als tussenproduct neer. Er komt een grote hoeveelheid warmte vrij die allemaal via koelspiralen moet worden afgevoerd.

#### Katalytische reactoren

Rond de eeuwwisseling werd de *heterogene katalyse* ontdekt, waarbij katalysatoren op het grensvlak van twee fasen werken. Dit leverde geheel nieuwe industrieel toegepaste processen, waarvan de ammoniaksynthese en de oxidatie van zwaveldioxide tot -trioxide de bekendste zijn.

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ontstaat bij verhoogde temperatuur uit stikstof en waterstof. Naarmate men de temperatuur echter opvoert, verschuift het chemisch evenwicht in de richting van stikstof en waterstof. Een vaste katalysator maakt de reactie mogelijk bij temperaturen rond  $500^\circ\text{C}$ , waarbij het evenwicht wat meer aan de kant van ammoniak ligt. Wanneer men





7

nu ammoniak uit het produkt mengsel weghaalt en de overgebleven gassen naar de reactor terugvoert, kan men in een continu proces vrijwel alle stikstof en waterstof in ammoniak omzetten.

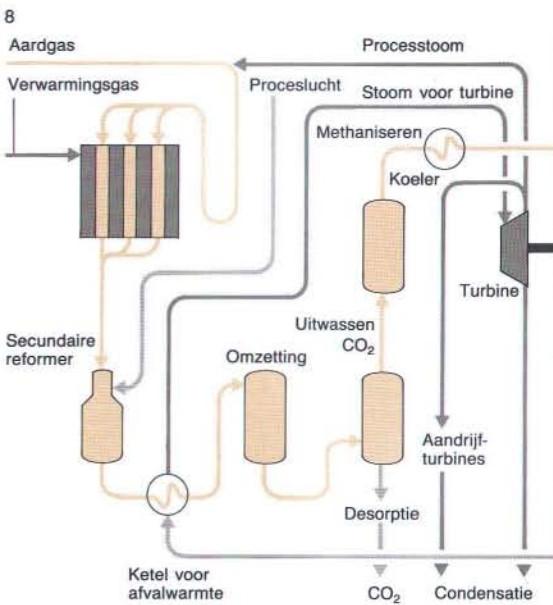
De methoden met heterogene katalyse vroegen ook om nieuwe reactortechnieken. De reactie moet worden uitgevoerd bij hoge druk (bijvoorbeeld 300 bar) en hoge temperatuur. Er moet dan veel warmte worden afgevoerd. Hiervoor moesten hoge-drukcompressoren worden ontwikkeld. De reactor werd een soort grote warmtewisselaar, met pijpen gevuld met katalysatorkorrels, terwijl om de pijpen koelvloeistof kan stromen die zorgt voor de warmte-afvoer.

Dit nieuwe type reactor is later sterk verbeterd en wordt nu veel gebruikt. Voor een goede warmte-afvoer is het gebruik van betrekkelijk dunne pijpen nodig. De katalysatordeeltjes

moeten klein zijn (omstreeks ½ cm) en fijn verdeeld voor een voldoende contact tussen gas en katalytisch oppervlak. Soms worden in dit soort reactoren ook gassen en vloeistoffen in contact gebracht met een vaste katalysator, we noemen dit een *trickle-reactor*.

Voor het onderzoek is interessant dat de processen in die reactoren in het laboratorium goed kunnen worden onderzocht aan één pijp met katalysator. De verkregen resultaten kan men direct naar fabrieksomstandigheden vertalen. Dit maakt het mogelijk om allerlei katalytische processen, na studie op laboratoriumschaal, snel te ontwikkelen voor industriële toepassing. Bij andere reactoren levert de opschaling van laboratorium- naar fabrieksomstandigheden vaak grote problemen op.

Vooral in de aardolie-industrie worden veel katalytische processen toegepast, met name voor de bereiding van motorbenzines. Het gaat er daarbij om, de moleculaire structuur van de in de natuur voorkomende koolwaterstoffen, veelal lineaire alkanen, om te zetten in een mengsel van vertakte en aromatische koolwaterstoffen. In andere katalytische processen worden grotere koolwaterstofmolekülen afgebroken tot kleinere, of worden in de eindprodukten ongewenste atomen zoals zwavel en stikstof verwijderd uit verbindingen die in aardolie voorkomen.



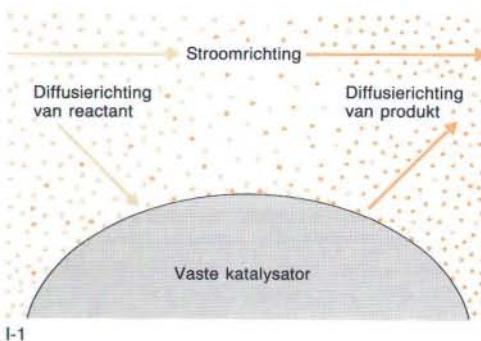
## Stroming en diffusie

INTERMEZZO

In katalytische reactoren worden gas- of vloeistofstromen vaak door een buis met katalysatorkorrels geleid. De voorbijstromende moleculen reageren alleen met elkaar op het katalysatoroppervlak. Op het eerste gezicht is de kans dat ze dat oppervlak bereiken niet zo heel erg groot, ook al zijn katalysatoren meestal zo geconstrueerd dat ze vele poriën bezitten en dus een relatief groot oppervlak hebben. De uitgangsstoffen bereiken echter niet alleen door stroming het katalysatoroppervlak. Er is nog een belangrijke factor. Doordat de moleculen die het katalysatoroppervlak bereiken daar worden omgezet, ontstaat er een verschil in concentratie tussen het gas of de vloeistof midden in de stroom en bij het oppervlak. Ten gevolge daarvan zullen moleculen diffunderen naar het gebied met lagere concentratie. De wervels in de stroom kunnen daarbij nog een handje helpen. Een bijkomstigheid is dat diffusie, zoals elk fysisch proces, niet oneindig snel verloopt. Als we de diffusiesnelheid kunnen uitrekenen, dan weten we hoeveel moleculen er per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid naar het katalysatoroppervlak gaan. De chemische reactie kan nooit sneller verlopen dan de diffusiesnelheid.

Dit principe is bij alle tweefasenreactoren van toepassing. We weten dit uit ervaring al heel lang: wanneer we een houtvuurtje stoken, brandt het vuur beter naarmate we de houtjes fijner hakken, ze meer

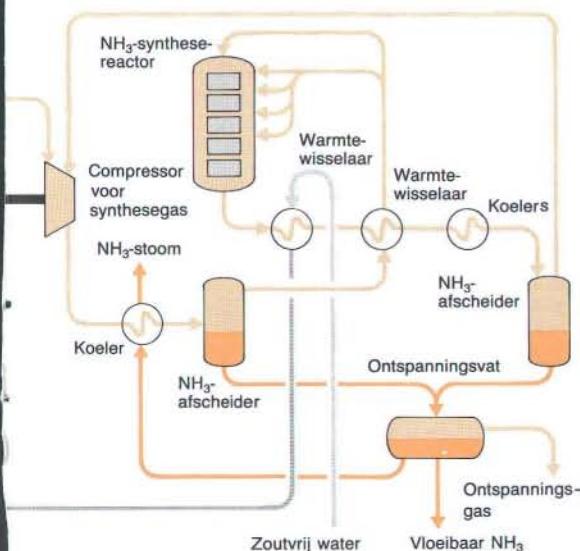
rechtop zetten, en er harder lucht doorheen blazen. Hierdoor wordt het transport van zuurstof uit de luchtstroom naar het houtoppervlak bevorderd, waardoor de reactie aan het houtoppervlak sneller verloopt.



I-1

I-1. Aan een katalysator vinden reacties plaats. De concentratie uitgangsstoffen is daardoor in de buurt van het katalysatoroppervlak altijd lager dan in de

langsstromende oplossing. Dit bevordert diffusie naar het oppervlak. Het produkt zal door diffusie van het oppervlak verdwijnen.



7 en 8. De ammoniaksynthese berust op het principe dat de uitgangsstoffen stikstof en waterstof in circulatie blijven en, zolang ze nog niet hebben gereageerd, steeds opnieuw de reactor ingevoerd worden. Het produkt  $\text{NH}_3$  condenseert bij koeling en wordt als vloeistof af aan de circulatie onttrokken. Het linkerdeel van het schema (8) betreft een aantal voorbereidingen op het reactiegas. Daarbij wordt waterstofgas uit aardgas vrijgemaakt. Het circulerende reactiegas is in het rechterdeel van het schema te vinden. De eigenlijke reactor vormt daar het middelpunt. In afbeelding 7 is

een ammoniakreactor vergroot weergegeven. De reactor is dubbelwandig. Tussen de twee wanden wordt het reactiegas op een druk van 200 bar en een temperatuur van  $150^\circ\text{C}$  gehouden. In de reactor heert dezelfde druk bij een temperatuur van ongeveer  $600^\circ\text{C}$ . Het gevolg is dat alleen de buitenste wand zeer drukbestendig hoeft te zijn en dat de binnenwand de corrosieve omstandigheden in de reactor moet kunnen weerstaan, maar niet tegelijkertijd een drukvat is. De katalysator bestaat uit een mengsel waaronder ijzer, kaliumoxyde, calciumoxyde en aluminiumoxyde.



9

### Reactorkunde

De geweldige ontwikkelingen in de chemie en in de chemische techniek in de eerste helft van deze eeuw hebben tot een enorme verscheidenheid en schaalvergrooting van chemische processen geleid, voor bijvoorbeeld de productie van kunststoffen, kunstmest, kunstvezels, lijmen en harsen, lakken, verven, geneesmiddelen en kleurstoffen. Oorspronkelijk werden de technische problemen bij elk nieuw chemisch proces afzonderlijk opgelost, wat leidde tot grondige ambachtelijke kennis voor elk soort proces.

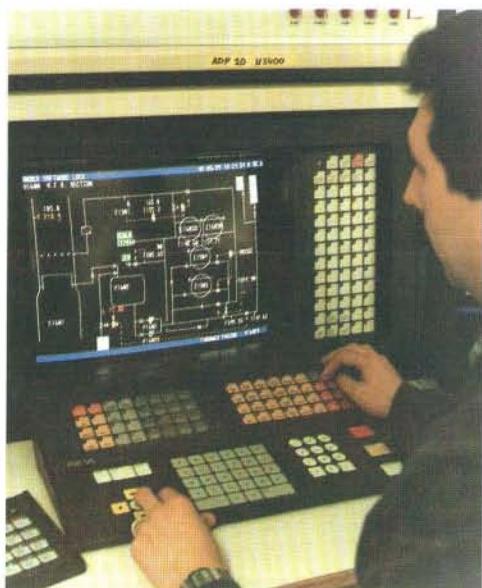
Kort na het begin van deze eeuw werd echter ingezien dat bij de fysische scheidingsprocessen voor het zuiveren van produkten vele gemeenschappelijke principes te herkennen zijn. De destillatie van petroleum is op dezelfde grondslagen gebaseerd als de destillatie van alcohol-watermengsels. Veel later ontdekten ingenieurs dat ze ook bij het ontwerpen van chemische reactoren gebruik konden maken van gemeenschappelijke principes, gebaseerd op natuurkundige verschijnselen die in een reactor optreden. De ingenieurs moesten leren om reactoren te zien als contactapparaten en warmtewisselaars.

De chemische reactorkunde is de weten-

schap van de samenzwering tussen transportverschijnselen en chemische reacties. De afzonderlijke en gecombineerde effecten worden op laboratoriumschaal onderzocht en kwantitatief beschreven. Bij schaalvergroting veranderen alleen de fysische effecten, niet de chemische. Door het schaaleffect van de fysische transportverschijnselen zoals mengen, roeren en diffusie afzonderlijk te onderzoeken, kan men het gecombineerde effect van chemische en fysische processen op grotere schaal voorspellen. Op deze wijze kunnen grote industriële reactoren worden ontworpen.

Deze methode blijkt niet alleen succesvol bij processen met vaste katalysatoren, maar ook bij allerlei niet-katalytische gas- en vloeistof-reacties. Er bestaan veel processen waarbij een gasvormig mengsel in contact wordt gebracht met een vloeistofmengsel, waarbij één van de bestanddelen van de gasfase in de vloeistof oplost en aldaar reageert met één van de opgeloste verbindingen.

De successen van de chemische reactorkunde maakten het mogelijk chemische reactoren op steeds grotere schaal te bouwen. Dit heeft een belangrijke economische consequentie. Als de ene chemische fabriek tiendaag zo groot is als de andere, dan zijn de bouwkosten ongeveer vijfmaal hoger. Dit betekent dat het

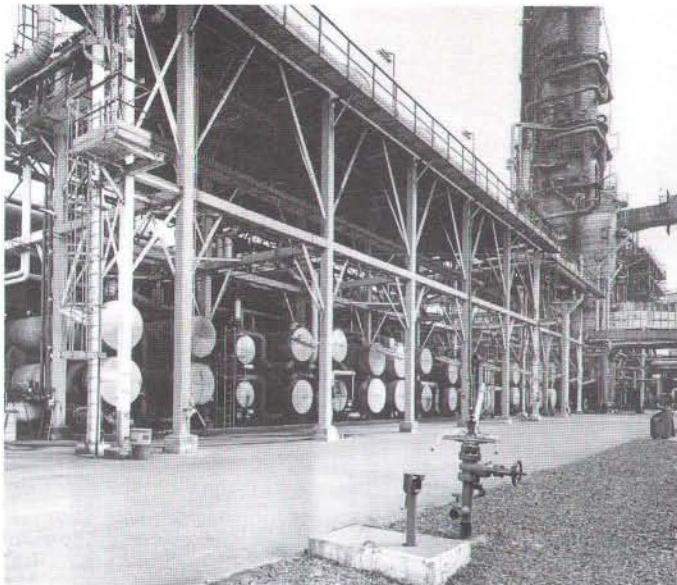


10

9, 10 en 11. De Hycon-reactor van Shell is onlangs in bedrijf gekomen. Het is een zeer moderne installatie waarin een groot deel van de ruwe aardolie kan worden omgezet in motorbrandstoffen van hoge kwaliteit. In zo'n moderne reactor is ook de meet- en regeltechniek zeer belangrijk. De reactieomstandigheden mogen slechts binnen nauwe marges variëren om een produkt van constante samenstelling te krijgen. De regelkamer (9 en 10) ziet er dan ook even imposant uit als de fabriek (11), die hier nog grotendeels in de steigers staat.

11





12



13

aandeel van de investering in de kostprijs van het produkt wordt gehalveerd. Het produkt uit de grotere fabriek is dus belangrijk goedkoper.

#### Milieu- en veiligheidsaspecten

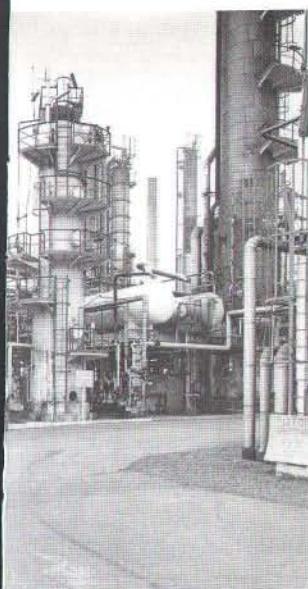
Eén van de minder prettige kanten van de chemie is dat vrijwel iedere reactie met nevenreacties gepaard gaat. Bij chemische omzettingen neemt het aantal verbindingen meestal toe. Het is nu de kunst de katalysator en de overige reactie-omstandigheden zó te kiezen dat de gewenste reactie sterk wordt bevorderd en de ongewenste reacties in de gegeven reactietijd minder kans krijgen. Enige vorming van bijprodukten is meestal echter onvermijdelijk. Die bijprodukten moeten zo goed mogelijk uit het hoofdproduct worden verwijderd, en vervolgens moeten ze onschadelijk worden gemaakt. Er bestaat dan toch nog een kans dat sporen van deze produkten in het afvalwater of de afvalgassen van de fabriek terechtkomen. Men moet voorkomen dat die stoffen het milieu belasten.

Velen zullen hierbij allereerst denken aan zuivering van afvalwater en afgassen. Dit kan nuttig zijn, maar het is in principe beter eerst de reactor aan te pakken, om zo mogelijk de vorming van bijprodukten verder te onder-

drukken. Dit zou kunnen door een andere katalysator te kiezen of door een betere beheersing van warmte- en stofoverdrachtsprocessen.

Het veiligheidsaspect van chemische reactoren is van niet te onderschatten belang. Anders gezegd: chemische reactoren zijn dikwijls potentiële bronnen van gevaar. Een reagerend mengsel is immers zeer 'actief'. Het bevat bovendien een geweldige hoeveelheid potentiële energie, niet alleen in de vorm van hoge temperatuur of druk, maar ook in de vorm van vrije energie, die kan vrijkomen wanneer de producten ontleden tot de elementen of de oxiden.

In principe bestaat het gevaar dat bij een uit de hand gelopen reactie de apparatuur bezwijkt en het reactiemengsel ontsnapt. Daarbij kunnen giftige of explosieve stoffen vrijkomen en er kan brand uitbreken. Bij het ontwerp van reactoren moeten al deze mogelijkheden rustig worden overwogen, zodat de benodigde veiligheidsmaatregelen kunnen worden ingebouwd. Hiertoe behoren gevoelige meetapparaten, die aangeven waar iets mis dreigt te gaan, zodat tijdig kan worden ingegrepen. Meestal zijn er ook een aantal automatische beveiligingen, waardoor in noodgevallen ogenblikkelijk druk kan worden afgelaten of snel extra koeling wordt ingeschakeld.



12 en 13. Ondanks een zorgvuldig ontwerp van de reactor leveren chemische reacties altijd mengsels op, waar de producten uit afgescheiden moeten worden. Tot de nabewerking behoort ook het terugwinnen van de warmte. Bij grote installaties, zoals hier op een raffinaderij van Esso, verrijst dan een grote warmtewisselaar waarin proceswarmte uit gedestilleerde producten aan uitgangsstoffen wordt overgedragen (12). Afbeelding 13 toont een zwavelwinninginstallatie.

Het behoeft geen betoog dat bij schaalvergroting deze risico's toenemen, anders gezegd: hoe groter de schaal, hoe strenger de veiligheidseisen die men moet stellen.

### Produktkwaliteit

Een reactor wordt ontworpen om een gegeven hoeveelheid produkt per tijdseenheid te maken op een economisch verantwoorde en veilige manier. Maar dat is niet alles. De opbrengstprijs wordt mede bepaald door de produktkwaliteit. Soms kan deze door zuivering worden vergroot. Dit is het geval wanneer men precies weet welke verontreinigingen niet of maar tot een bepaald gehalte in het produkt mogen voorkomen. Maar vaak moet het hele produktieproces worden afgestemd op een bepaalde toepassing. Ook hier is het natuurlijk in principe het beste de reactor aan te passen, zodat men in één keer het goede produkt maakt. Dit is met name zo bij de bereiding van polymeren, dus bij de fabricage van kunststoffen, kunstvezels, lijmen, harsen en verven. Een polymeer is altijd een mengsel van molekülen van verschillende lengte, soms ook nog van verschillende samenstelling. Het is niet mogelijk uitsluitend identieke polymeermolekülen te maken. Toch is door wijziging van de reactie-

omstandigheden een andere verdeling bereikbaar. De samenstelling van het polymeermengsel hangt niet alleen af van de uitgangsstoffen van de reactie, maar ook van de wijze van toevoer van de grondstoffen en van de menging in de reactor. Wanneer het polymeer in een andere fase dan die van de uitgangsstoffen ontstaat, kan de deeltjesgrootte en -verdeling eveneens worden beïnvloed door fysische omstandigheden. Dit maakt schaalvergroting van dergelijke processen moeilijk, vooral wanneer men niet precies weet door welke omstandigheden bepaalde producteigenschappen worden beïnvloed.

Reactoren hebben zich ontwikkeld van de kookpotten der Assyriërs tot de ingewikkelde en specialistische apparaten die we op onze industrieterreinen aantreffen. Er worden hoge eisen gesteld aan de vormingssnelheid van het gewenste produkt, de selectiviteit, de produktkwaliteit, de warmteafvoer, de veiligheid en de milieu-aspecten. Bovendien moet de reactor 'bestuurbaar' zijn, en moet hij kunnen worden gestart en gestopt zonder dat er iets mis gaat.

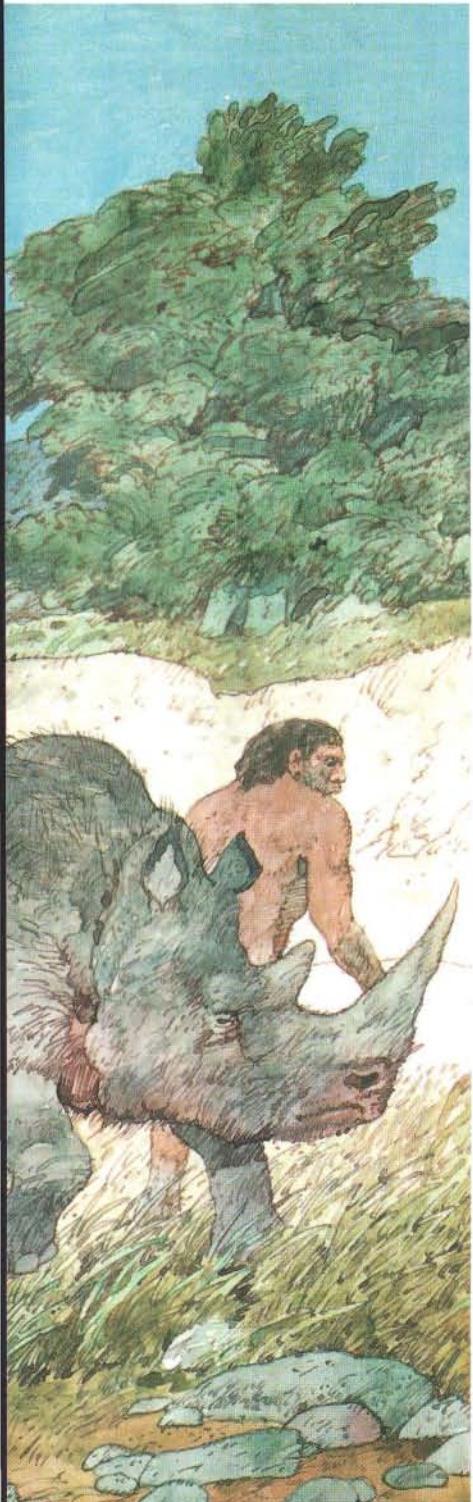
Chemische reactorkunde is een interdisciplinair vak. Men moet in ieder geval resultaten gebruiken uit verschillende onderdelen van de chemie, van de transportfysica en de materiaalkunde. Wat wij tegenwoordig in onze reactoren kunnen maken is spectaculair. Wel moeten we ons voortdurend bewust zijn van de gevaren, die tot even spectaculaire ongelukken kunnen leiden. We spelen met vuur, maar dat is te leren.

### Literatuur

Denbigh KG, Turner JCR. *Chemical Reactor Theory*. Cambridge: Cambridge University Press; 1984, 3th ed.  
Bergh PJ vd, Jong WA de. *Introduction to Chemical Process Technology*. Delft: Delft University Press; 1980.

### Bronvermelding illustraties

DSM, Heerlen: pag. 458-459, 5  
Mary Evans Picture Library, Londen: 1, 2  
BASF: 4, 6  
Shell, Rotterdam: 9, 10, 11  
Fotobureau C. Kramer, Rotterdam, opnamen van de Essoraffinaderijen te Rotterdam: 12, 13



Wie waren de eerste bewoners van de lage landen en wanneer en hoe leefden zij? Een voorlopig antwoord op deze vragen is het resultaat van opgravingen in een löss- en grindgroeve even buiten Maastricht. Daar zijn de restanten gevonden van kleine kampementen, waar jagers/verzamelaars zo'n kwart miljoen jaar geleden leefden. De gezamenlijke inspanningen van archeologen, geologen, paleontologen, dateringsspecialisten en, niet te vergeten, vrijwilligers bieden enig inzicht in het doen en laten van deze mensen.

Reconstructie van de leefomgeving van mensachtigen die een kwart miljoen jaar geleden in de omgeving van Maastricht leefden. Deze rondtrekkende jagers/verzamelaars richten regelmatig tijdelijke kampementen in aan de oevers van de Maas. De restanten daarvan zijn in de Belvédéregroeve aangetroffen. Hoe realistisch dit aquarel is, is op grond van de daar gevonden sporen niet te zeggen. Zo waren de hellingen waarschijnlijk dichter begroeid als hier is afgebeeld. Verder is bijvoorbeeld onbekend of en waarin deze mensen gekleed gingen en of ze actief op dieren joegen, dan wel aaseters waren.

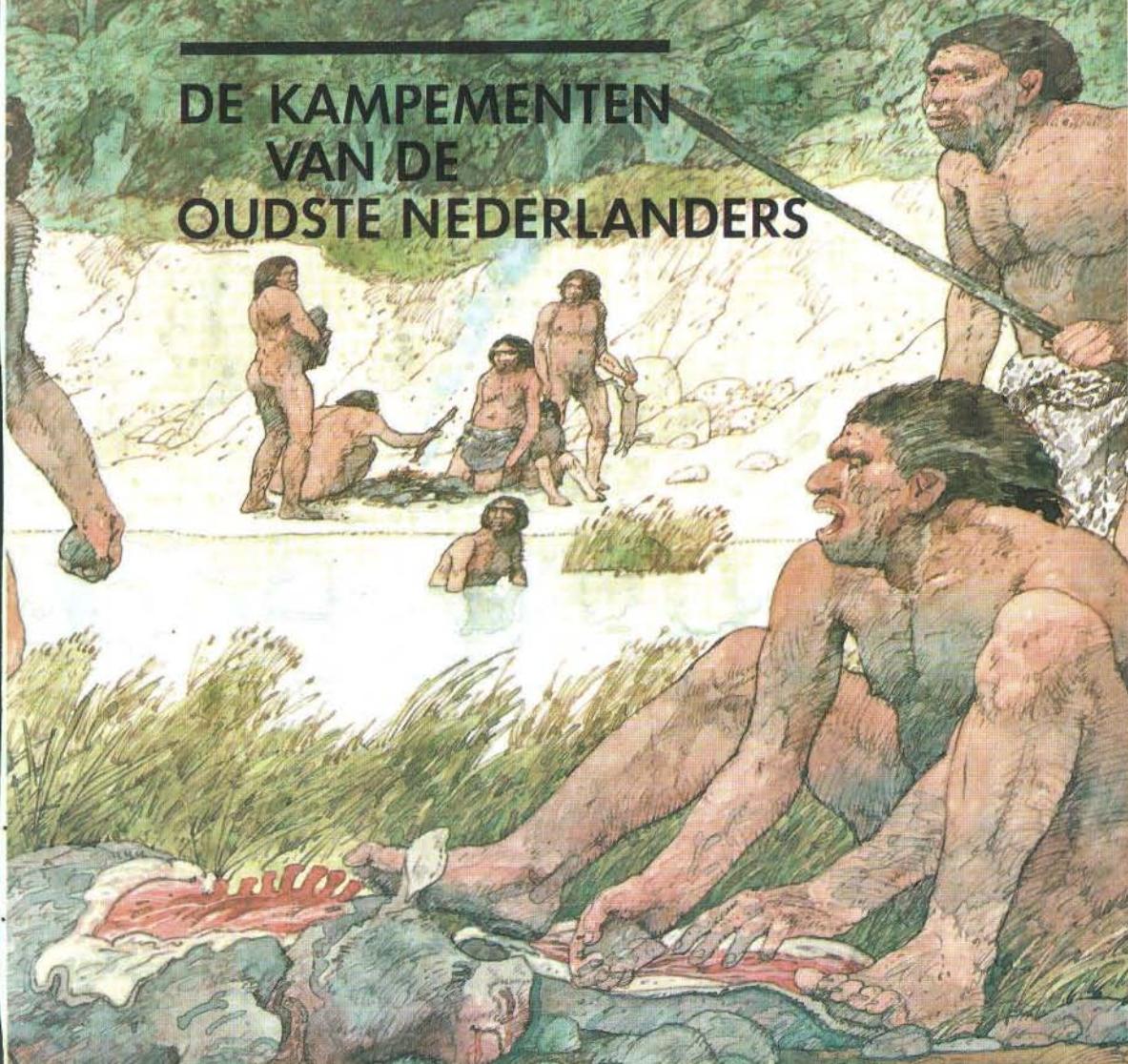


W.H. Roebroeks  
Instituut voor Prehistorie  
Rijksuniversiteit Leiden

# *Mensen* AAN DE *Maas*

---

DE KAMPEMENTEN  
VAN DE  
OUDSTE NEDERLANDERS



Bestsellers als Jean Auels *Stam van de Holenbeer* verschaffen de lezer een zeer gedetailleerd beeld van het leven van prehistorische mensen. Ze beschrijven de lotgevallen van groepjes jageren en plantaardig materiaal verzamelende mensachtigen, die door een ongerept oerlandschap trekken, kampementen inrichten, complexe huwelijksrituelen uitvoeren en contacten met ver verwijderde groepen onderhouden. Zelfs hun gevoelsleven wordt behandeld, zodat de lezer af en toe het idee krijgt met een soort 'Dallas in beroerten' te doen te hebben.

Auel en andere schrijvers van dergelijke boeken hebben veel basisinformatie geput uit saaie archeologische rapporten en die vermengd met een forse dosis fantasie om tot een onderhoudend geheel te komen. De schaarse sporen die uit deze zeer lang vervlogen tijden bewaard zijn gebleven, laten een zo gedetailleerde beschrijving helemaal niet toe. Integendeel, in feite weten we heel weinig over het leven van de mensachtigen die toen leefden.

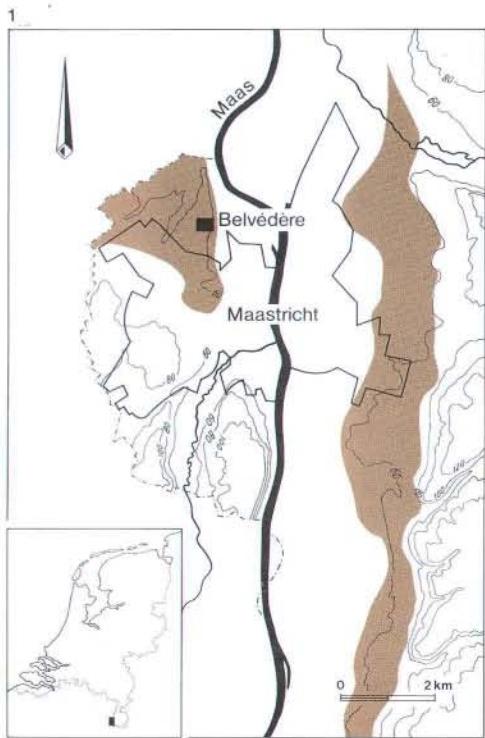
Uit opgravingen die even buiten Maastricht zijn gedaan, weten we dat daar al een kwart miljoen jaar geleden kleine groepjes mensen door een ongerept oerlandschap trokken. Ze verzamelden er vruchten en maakten jacht op wilde dieren. Zeker is dat ze naast herten en reeën ook jonge neushoorns, die toen nog in onze contreien voorkwamen, aten. Op hun tochten bivakkeerden zij in tijdelijke kampplaatsen. Daar slachtten zij dieren en bereidden ze hun maaltijden. Ze gebruikten gereedschappen van vuursteen, been en hout. Hoewel deze mensen ouder zijn dan de Neandertalers, is het mogelijk dat ze qua aanleg en intelligentie niet veel van ons verschilden. In dit artikel zullen we zien hoe we aan deze kennis gekomen zijn.

### Belvédère

Volgens de huidige stand van de wetenschap stond de wieg van de mensheid in Afrika. Daar zijn de oudste fossielen van mensachtigen gevonden. Deze zijn ongeveer drie miljoen jaar oud. De eerste 'Europeanen' zijn veel jonger. Hoewel niet bekend is wanneer de eerste mensachtigen ons werelddeel koloniseerden, staat vast dat dit minstens 700 000 jaar geleden is geweest. Zo oud zijn tenminste de vuurstenen werktuigen die bij opgravingen in het Italiaanse Isernia, circa 140 km ten oosten van Rome,

zijn gevonden. De kolonisatie van noordelijker delen van Europa door rondtrekkende jagers/verzamelaars vond later plaats, vermoedelijk niet eerder dan 400 000 jaar geleden. Hoewel deze dateringen onder archeologen veel discussie oproepen, is duidelijk dat we, als we praten over mensen van 250 000 jaar geleden, met relatief jonge zaken bezig zijn.

De vondsten die we zullen bespreken zijn gedaan in de groeve Belvédère, even noordwest van Maastricht. Al sinds de vorige eeuw wordt daar grind en löss gewonnen voor de wegenbouw en de fabricage van bakstenen. Vanaf het begin zijn er fossielen gevonden van zoogdieren als de mammoet en de wolharige neushoorn, die zich vele tienduizenden jaren geleden in onze streken ophielden. In 1980 vond de geoloog W. Felder in één van de wanden van de groeve een stuk vuursteen, dat duidelijke tekenen van menselijke bewerking vertoonde. Deze vondst was voor het Leidse Instituut voor Prehistorie aanleiding om de groeve nauwkeurig te gaan onderzoeken. Dat gebeurde in nauwe samenwerking met een kleine groep amateurarcheologen, terwijl er gaande-





2

1. De Belvédèregroeve ligt even ten noordwesten van Maastricht, langs de weg richting Lanaken. De grindafzettingen onder het lössplateau daar maken

deel uit van het zogenoemde Caberg Midden-Terras. De vlakken tonen de verspreiding van grind van het Caberg Midden-Terras.

2. Luchtfoto van de Belvédèregroeve. In kleur zijn de diverse opgravingplaatsen aangegeven. De coördinaten komen overeen met die van de officië-

le topografische kaart van Nederland. De kruisen geven een afstand van 100 meter aan.

weg steeds meer onderzoekers uit verschillende disciplines en verschillende landen bij betrokken werden.

Het Zuidlimburgse heuvelland is ontstaan doordat de Maas zich gedurende de laatste twee miljoen jaar insneed in haar eigen dalbodem, tegen de langzame opheffing van het land in. Dat gebeurde stapsgewijs: perioden waarin de rivier zich insneed werden afgewisseld door perioden waarin zij het dal verbreedde. Na elkeinsnijding bleven de oude dalvlakten in de vorm van terrassen achter. Hoewel door erosie en afdekking met dikke lagen löss de terrasstructuur wat verdoezeld is, is zij nog steeds in het landschap te herkennen.

Een laatste overblijfsel van een betrekkelijk jong terras is de Caberg, aan de noordkant van Maastricht. Op een geologische doorsnede

(afb. 5) zien we dat de basis van het terras wordt gevormd door Vroeg-Tertiaire kalksteen. Daarbovenop ligt een tot acht meter dik pakket grof grind. Dit pakket is gevormd in een ijstijd. De Maas was toen een woest stromende rivier en het grind is vermoedelijk met smeltwater uit de Ardennen meegevoerd. Dit wordt bevestigd door het onderzoek van de sedimentaire structuur en de in deze laag aange troffen fossielen van mammoet en wolharige neushoorn. Na die ijstijd veranderde de rivier in een rustig meanderende stroom, die fijnzandige sedimenten op het grindpakket deponeerde. In deze fijne riversedimenten zijn de interessante restanten van menselijke activiteit aangetroffen. Deze laag is afgedekt door twee lagen löss, die tijdens de voorlaatste en laatste ijstijd zijn gevormd.



3

Hoewel ook in de andere lagen restanten van menselijke activiteit zijn aangetroffen, zullen we ons concentreren op de fijne rivierafzettingen onder de lösslagen. De overblijfselen van de kleine kampementen die er gevonden zijn, zijn goed bewaard gebleven omdat ze, nadat ze waren verlaten, door slijp zijn ingesloten. Alles ligt er nog zoals de mensen het toen hebben achtergelaten. Latere verstorende processen hebben er nauwelijks invloed op gehad. Archeologen zeggen dan dat de vondsten zich nog in hun *primaire archeologische context* bevinden.

#### Voor de bulldozers uit

Dergelijke gave vindplaatsen zijn, zeker voor de oudere fasen van de prehistorie, zeldzaam en het is dan ook zaak de ruimtelijke spreiding van de vondsten goed te documenteren. Idealiter wordt bij dit soort opgravingen van iedere vondst de vindplaats in een driedimensionaal schema vastgelegd. In de Belvédéregroeve hebben wij echter te maken met de situatie dat de opgravingen plaatshebben in een groeve die



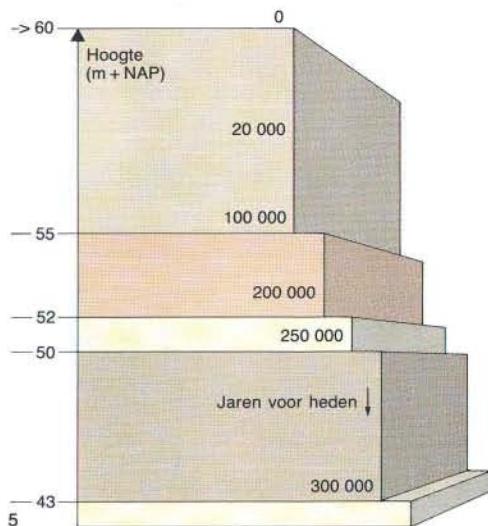
3. De verschillende lagen die in afbeelding 5 schematisch zijn aangegeven, vinden we terug in het profiel van de zuidwand van de groeve. Op voorgrond zien we een grindpakket, waaruit een aantal grote stenen komt. Daarboven vinden we de fijnkorrelige rivieraafzettingen die

4. Graven voor de machines uit. De vindplaatsen bevonden zich in een commercieel geëxploiteerde groeve. De exploitant kwam de archeologen tegemoet door zijn machines zo lang mogelijk om de vindplaatsen heen te

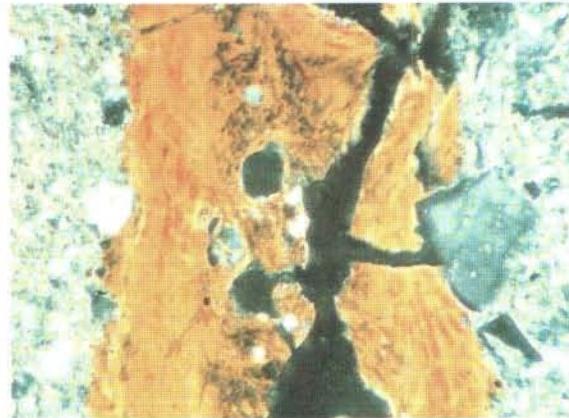
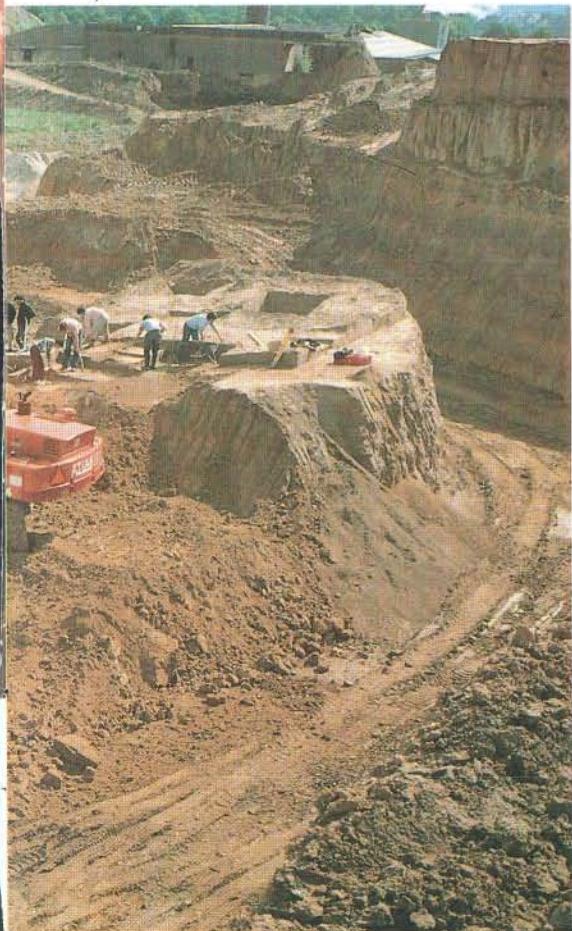
250 000 jaar geleden werden gevormd en waarin de voornaamste vondsten zijn gedaan. Daarboven drie lagen löss: uit het eind van de voorlaatste ijstijd, uit de eerste helft van de laatste ijstijd en uit het eind van de laatste ijstijd. De jongste laag is 15 tot 20 000 jaar geleden afgezet.

laten graven. Deze kwamen zodoende als het ware op eilandjes te liggen.

5. Een schematische doorsnede door het dikke pakket met afzettingen uit de laatste 300 000 jaar.



4



6

6. Een zogenaamd slijplaatje van de circa 250 000 jaar oude Maasafzettingen in de Belvédère-groeve. De ongestoorde grondmonsters zijn in een laboratorium van de Universiteit van Amsterdam gedroogd en onder vacuüm geimpregneerd met een kunsthars, die de plaatsen opvult die oorspronkelijk met water of lucht waren gevuld. Na het uitharden heeft men een monster dat na een paar behandelingen geschikt is voor microscopisch onderzoek. Op de foto zien we een dwarsdoorsnede door

een fijnkorrelige rivieraafzetting, die gevormd moet zijn in een kom, stilstaand water buiten de rivierbedding. Bij hoge waterstanden wordt in kommen fijn materiaal afgezet. Links en rechts zien we grijze, gereduceerde klei met daarin ingebet witte en grijze zandkorrels. In de scheur in het midden is bruinige klei gespoeld. Dit type klei-inspoeling wordt in het algemeen geassocieerd met stabiele perioden in interglaciale, de relatief warme perioden tussen twee ijstijden in (62x).



7. In het grind van een van de vindplaatsen werd deze fraaie stootand van een mammoet aangetroffen.

7

## Sedimenten, muizen, slakken

Het onderzoek van de Belvédèregroeve en de interpretatie van de vondsten is bij uitstek een interdisciplinaire aangelegenheid, waarbij archeologen, geologen, paleontologen en dateringsspecialisten nauw samenwerken.

Geologen onder leiding van prof dr J. Vandenberghe van de Vrije Universiteit in Amsterdam stelden vast door welke processen de sedimenten waarin wij de vondsten aan troffen zijn afgezet en in wat voor soort omgeving. Zeer waardevol is hierbij het microscopisch onderzoek van flinterdunne doorsneden van het sediment in de vorm van slijpplaatjes. Dit micromorfologisch onderzoek is uitgevoerd door dr H. Mücher van de Universiteit van Amsterdam. Het levert niet alleen gedetailleerde informatie op over de vorming van de sedimenten, maar ook over wat er na de afzetting met het sediment gebeurd is. Dank zij Müchers onderzoek weten we bijvoorbeeld dat tegen het eind van de warme periode tussen twee ijstijden waarin het fijne sediment werd afgezet, gedurende enkele duizenden jaren in het gebied een loofbos heeft gestaan. Ook aan de datering van de lagen waarin de belangrijkste vondsten zijn aangetroffen hebben geologen een belangrijke bijdrage geleverd.

Paleontologen bestudeerden de dierlijke resten uit de verschillende afzettingen. De resten van grote en kleine zoogdieren geven bijvoorbeeld een aanwijzing voor de verschillende klimaten die in de afgelopen 300 000 jaar in dit gebied geheerst hebben. Fossielen van mammoet, wolharige neushoorn, rendier en

lemming wijzen op afzettingen die zijn ontstaan in een periode waarin het betrekkelijk koud was. Warmere perioden tussen twee ijstijden in, interglaciaten, worden gekenmerkt door overblijfselen van bosolifant, steppeneushoorn, reuzenhert, edelhert en ree. Dr T. van Kolfschoten van de Rijksuniversiteit te Utrecht ontdekte bij dat onderzoek een 'nieuwe' bosmuussoort, *Apodemus maastrichtensis*. Inmiddels zijn resten van deze Maastrichtse muis ook op andere plaatsen in binnen- en buitenland aangetroffen. Behalve bouwstenen voor de reconstructie van klimaat en milieu ten tijde van de vorming van deze archeologische vindplaatsen levert het paleontologisch onderzoek ook gegevens op over de relatieve ouderdom van de verschillende lagen. Restanten van de mammoet in het grindpakket onder het riviersediment duiden er bijvoorbeeld op dat de grinden zeer waarschijnlijk zijn afgezet na het zogenoemde Holsteininterglaciaal, een periode met betrekkelijk warm weer, tussen de 300 000 en 350 000 jaar geleden.

Deze relatieve datering op grond van zoogdierresten wordt ondersteund door het onderzoek van T. Meijer van de Rijks Geologische Dienst in Haarlem. Hij doet onderzoek naar de meer dan 70 aangetroffen slakkensoorten. Op grond daarvan kon hij ook vaststellen dat het klimaat ten tijde van de afzettingen vergelijkbaar was met het huidige – mogelijk waren de zomers iets warmer – terwijl de vindplaatsen in een vochtig, dicht begroeid gebied lagen en op hogere delen schaduwrijke loofbossen lagen.

commercieel geëxploiteerd wordt, midden in het ontginningsfront van de exploitant. Hoewel deze waar mogelijk met de belangen van de archeologen rekening houdt, betekent dit toch dat we snel moeten werken. Soms moeten we letterlijk voor de machines uit opgraven.

Staande voor de keuze om een klein oppervlak volgens de regelen der kunst op te graven, of een groter oppervlak opgraven en voor lief nemen dat details van de ruimtelijke verspreiding van de vondsten verloren gaan, hebben wij vaak voor het laatste gekozen. Daardoor zijn wij er toch in geslaagd om over een gebied van een kleine zes hectaren dertien vindplaatsen geheel of gedeeltelijk op te graven. Elf daarvan bevonden zich in de fijnkorrelige rivierafzettingen.

De meeste vindplaatsen zijn ontdekt door twee amateurarcheologen, De Warrimont en Groenendijk, die de nieuw ontstane afgravingswanden in de groeve systematisch afkonden.

### Driedimensionale puzzels

Op het eerste gezicht waren de vondsten helemaal niet indrukwekkend. Tot de voornaamste behoorden bij elkaar liggende stukjes vuursteen. Het belang ervan bleek pas later, bij het *refitten* en bij het gebruikssporenonderzoek.

*Refitten* is het in elkaar passen van losse stukjes vuursteen tot een geheel. Mesjes, schrapers en ander gereedschap werden gemaakt door een grote knol vuursteen te nemen

### INTERMEZZO

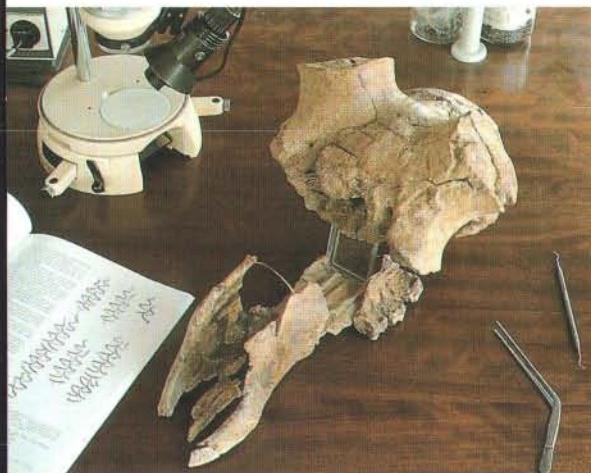
Absolute dateringen werden verkregen van onderzoekers in Oxford. Zij onderzochten restanten van verbrande vuursteen en dateerden deze op  $270\,000 \pm 22\,000$  jaar voor heden. De slakken werden met be-

hulp van elektronenspinresonantie door onderzoekers in Keulen gedateerd op  $220\,000 \pm 40\,000$  jaar oud. Het onderzoek naar de absolute ouderdom van de vondsten loopt nog steeds.

I-1



I-1. Een verzameling van tanden en kiezen van kleine knaagdieren. Door de grote verscheidenheid en de snelle evolutie van muisen, spitsmuizen en wooratten kunnen we veel te weten komen over het natuurlijk milieu in die tijd. Daarnaast helpen zij bij de datering van de vondst.



8

8. Deze schedel van een reuzenhert, een uitgestorven soort, werd gevonden onder de löss van de Belvédèregroeve. Het fossiele bot is na honderdduizenden jaren uitstekend bewaard gebleven.

9. Met de grootst mogelijke voorzichtigheid worden de vondsten aan de bodem ontfutseld. Hier zijn

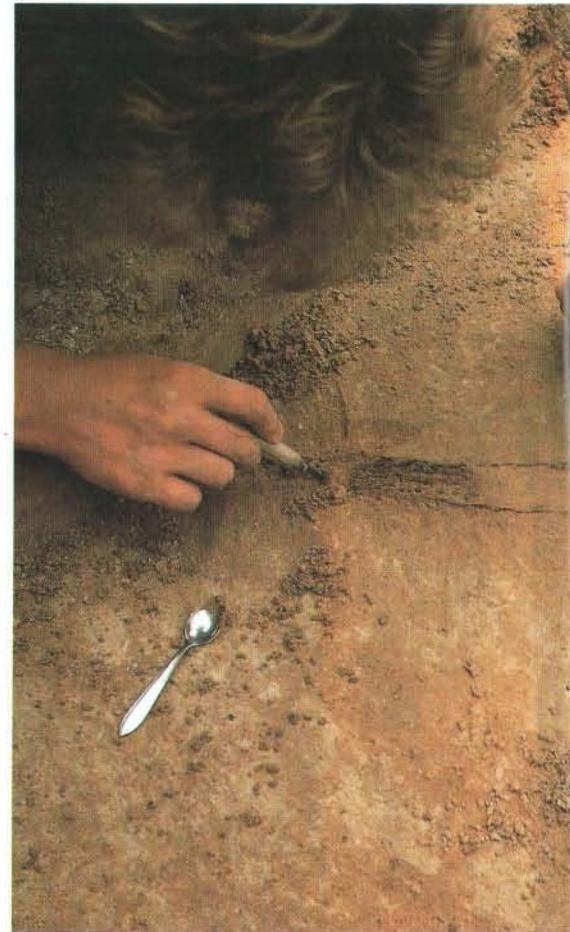
10 en 11. Als de prehistorische mens een stuk gereedschap nodig had, maakte hij dat vaak uit een stuk vuursteen, gewoon door er stukken af te slaan en bruikbare fragmenten verder te bewerken. Uit de vindplaats van passende stukken is af te leiden of alles er ongeveer nog ligt zoals het 2500 eeuwen is achtergelaten. Dat is van belang voor de interpreta-

tie van de overige vondsten. In 10 zien we een uit 180 stukjes geconstrueerde kernsteen, die ter plaatse helemaal werd opgebruikt. In 11 passende stukjes van de korst van een vuursteenkrol. De kern van de steen is bij de opgraving niet gevonden en wellicht meegenomen om elders te worden gebruikt. Beide stenen zijn ongeveer 15 cm groot.

en daar stukken van af te slaan. Geschikte stukken werden verder bewerkt, de rest werd weggegooid. P. Hennekens heeft maanden besteed aan het weer aan elkaar plakken van passende stukjes. Die inspanning is de moeite waard, omdat we op die manier in feite de bewerking van een vuursteenkrol terugdraaien. Dit geeft ons veel informatie over de manier waarop de prehistorische mens met zijn materiaal omging. Daarnaast krijgen we zo een indruk van wat er op de vindplaats gebeurd kan zijn, nadat hij verlaten werd. Liggen passende stukjes ver van elkaar, dan moeten we rekening houden met de mogelijkheid dat het oorspronkelijke patroon door allerlei geologische processen is verstoord. Het is dan zaak door verder onderzoek de oorzaak van de verstoring op het spoor te komen. Liggen ze dicht bij elkaar, dan mogen we er van uitgaan dat dat waarschijnlijk niet het geval is geweest. Deze informatie is van belang voor de verdere interpretatie van de vondsten.

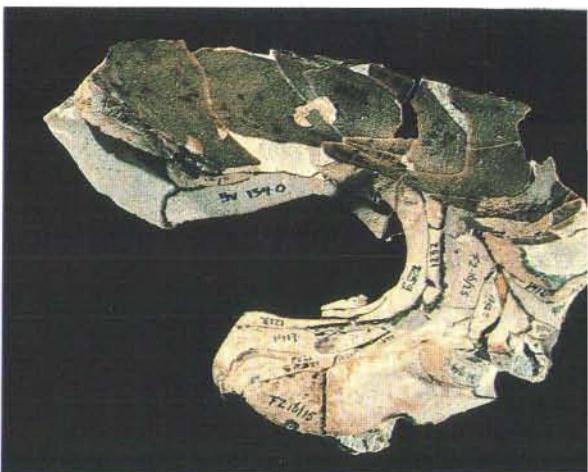
Refitten geeft ook informatie over de vorm waarin vuursteen de vindplaats binnenkwam en weer verliet. Zo blijkt dat van sommige knollen alleen afslagen zijn gevonden, terwijl de kern ontbreekt. Van een andere knol werd juist alleen de kernsteen gevonden. Omdat in de Belvédère-opgraving geen passende stukjes gevonden zijn, moet deze op een andere plaats zijn bewerkt. Waar die andere plaats was, weten we niet, maar uit onderzoek in de Périgord (Frankrijk) is bekend dat men 250 000 jaar ge-

9

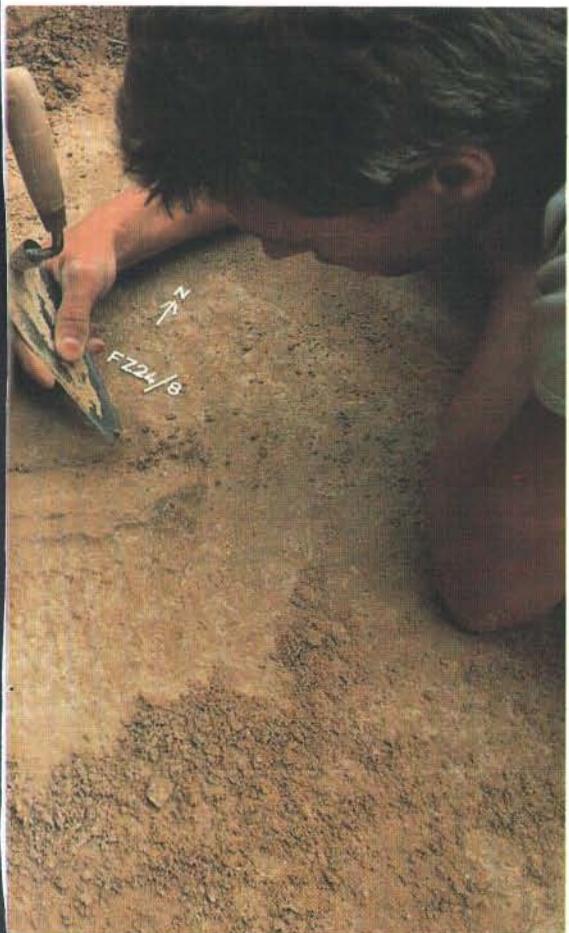




10



11



leden soms over afstanden tot 80 km met vuurstenen werktuigen rondtrok. Dit zegt al iets over de grootte van het leefgebied van deze mensachtigen.

#### Jagers of aaseters

De sporen op de werkanten van stukken vuursteen verraadden soms ook voor welk doel ze gebruikt zijn (zie Natuur en Techniek van september 1988). Hoewel slechts een klein deel van de gevonden vuursteenresten geschikt bleek te zijn voor onderzoek, leverde het toch interessante informatie op, vooral in combinatie met de gevonden botresten.

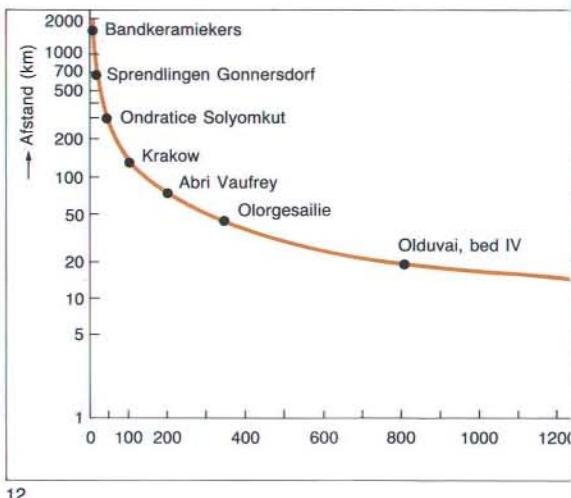
De botresten die in de opgraving zijn aangevonden leveren hun eigen interpretatieproblemen op. Men kan stellen dat er verband bestaat tussen de gevonden vuursteenresten en het botmateriaal, maar het is ook heel goed mogelijk dat ze, hoewel ze op dezelfde plaats zijn gevonden, niets met elkaar te maken hebben. Botten die in rivierafzettingen worden gevonden, kunnen immers ook afkomstig zijn van kadavers die stroomopwaarts uit elkaar gevallen zijn, terwijl het bijvoorbeeld ook restanten kunnen zijn van de maaltijd van roofdieren die toevallig daar hun prooi hebben gevangen. Alleen als de botten sporen vertonen van contact met stenen werktuigen, en stenen werktuigen sporen van contact met bot, kan men ze met zekerheid met elkaar in verband brengen.

In één geval kon dat heel goed. Op een vindplaats is een vuurstenen mes gevonden, 16,5 cm lang, tussen de schaarse resten van twee jonge neushoorns. Analyse van de gebruikssporen op het mes, door A. van Gijn, leverde op dat het gebruikt moet zijn voor het slachten van een dier met een dikke huid. Het ligt voor de hand dat dat in elk geval één van de twee neushoorns is geweest. Niettemin blijft het dan de vraag of de neushoorns aan hun einde kwamen doordat ze bejaagd werden. Het kan namelijk ook zijn dat ze door een natuurlijke oorzaak om het leven zijn gekomen en door de mensen zijn gevonden en geslacht. In het laatste geval zouden onze voorouders ook aaseters geweest zijn.

Die veronderstelling verandert het beeld dat we van deze mensen hebben radicaal. Tot aan het eind van de jaren zeventig waren de meeste archeologen het erover eens dat jacht de voorname manier was waarop mensen in die tijd in hun vleesbehoefte voorzagen. Vooral de Amerikaanse archeoloog Lewis Binford stelt sindsdien dat aaseten wel eens een heel belangrijke voedingsstrategie geweest kan zijn. Zijn kritische publicaties hebben er vooral toe geleid dat nu niet meer voetstoots wordt aangenomen dat de mensen toen louter jagers/verzamelaars waren. Veel archeologen hebben hier moeite mee, omdat een aasetende mens niet in hun mensbeeld past.

Het feit dat de neushoornresten van jonge dieren afkomstig waren, kan zowel met jacht als met aaseten stroken. Jonge dieren zijn voor jagers doorgaans een gemakkelijke en voor aaseters de meest voorkomende buit. Een verantwoorde keuze tussen beide mogelijkheden is dus op grond van de beschikbare gegevens niet mogelijk.

Ook andere vondsten geven in dit opzicht geen duidelijk uitsluitsel. In het Noordduitse Lehringen is bijvoorbeeld een speer van taxushout gevonden tussen de beenderen van een bosolifant. De vondst werd gedaan in een meerafzetting die 100 000 jaar oud is. De vondst kan op verschillende manieren uitgelegd worden. Het kan zijn dat dit dier is opgejaagd en met de speer is gedood; het is echter ook mogelijk dat de speer is gebruikt om een zielotwend dier af te maken. Als men een keuze maakt, zal die eerder zijn gebaseerd op het beeld dat men van deze prehistorische mensen heeft, dan op 'harde' feiten.



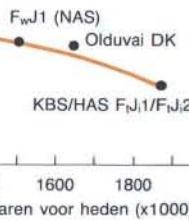
12

### Tienduizend generaties

Bovenstaande vragen ten spijt is het gerechtvaardigd om te veronderstellen dat de mensachtingen die verantwoordelijk waren voor het ontstaan van de vondsten die we in de afgelopen acht jaar gedocumenteerd hebben, de toenmalige oeverzones van de Maas onder andere bezochten om op de een of andere manier aan vlees te komen. Daarnaast kan de bedding van de rivier gefungeerd hebben als bron van vuursteenknollen, terwijl ook het verzamelen van plantaardig materiaal een rol kan hebben gespeeld.

Het archeologisch onderzoek in de groeve loopt nog steeds, omdat we de verschillen tussen de diverse vondstcomplexen en hun ruimtelijke spreidingen binnen dit beperkte gebied beter willen leren kennen. Vaak worden verschillen tussen vondstcomplexen uit de steentijd verklaard door te wijzen op verschillen in ouderdom, milieu of de beschikbaarheid van grondstoffen. Dat zijn nou net de factoren die wij binnen het gebied van de groeve in zoverre onder controle hebben, dat vaststaat dat de afzettingen die we bestuderen in betrekkelijk korte tijd zijn ontstaan en een betrekkelijk klein oppervlak beslaan. Men mag dus aannemen dat alle sporen van menselijke activiteit die we hier aantreffen de materiële neerslag van één en dezelfde 'cultuur' vormen.

In de Belvédère-groeve vinden we ook slechts een klein deel van de materiële neerslag van de-



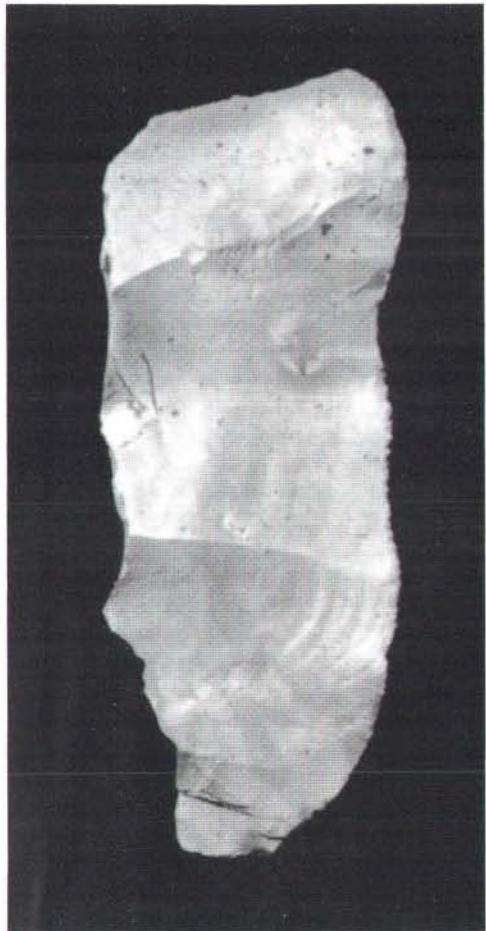
12. Deze afbeelding geeft de maximum afstanden waarover grondstoffen in de loop van de prehistorie werden getransporteerd van de natuurlijke bron. Naar mate de vondsten recenter zijn, blijkt dat ze over grotere afstanden werden verplaatst.

13. Dit vuurstenen mes is gevonden tussen de restanten van twee jonge neushoorns. Onderzoek naar gebruikssporen op het werkvlak wees uit dat het mes is gebruikt voor het opensnijden van een dier met een dikke huid.

ze mensachtigen, omdat het gaat om vindplaatsen die toentertijd aan de rivieroever lagen, regelmatig overstroomd raakten en daar door goed geconserveerd zijn. Het is heel goed mogelijk dat deze kampementen heel anders van aard waren dan die op hogergelegen plaatsen. Omdat daar vrijwel geen sedimentatieplaatsvond, zijn de vindplaatsen er doorgaans zo verstoord dat het moeilijk is met enige zekerheid samenzwering tussen de verschillende gevonden voorwerpen aan te tonen. Wat we weten van prehistorische mensen uit deze tijd, weten we alleen op grond van opgravingen in goed gecoserveerde vindplaatsen in rivier- en meersedimenten, waardoor het beeld enigszins vertekend is.

Het onderzoek in de Belvédère-groeve versterkt deze vertrekking. Van de andere kant geeft het ons een beeld van het leven van mensachtigen die zo'n tienduizend generaties geleed leefden, op een schaal die slechts door een klein aantal andere vindplaatsen in Europa geëvenaard wordt. Ook dat is een reden om door te gaan met dit onderzoek.

13



De groeve Belvédère zal nog maar een paar jaar in bedrijf zijn. Dat is de tijd die archeologen rest om het hier beschreven onderzoek voort te zetten. De Stichting Belvédère verzamelt gelden om dit ook financieel mogelijk te maken. Het gironummer is 5166843, t.n.v. Stichting Belvédère, Leiden.

#### Literatuur

- Borman R, Willemsen G, Stapert D. De ijstijden in de Nederlanden. Zutphen: Terra, 1984.  
 Gijn AL van. De glans van het gebruik – Gebruikssporen-onderzoek aan vuursteen. Natuur en Techniek 1988; 56; 9, 710-721.  
 Roebroeks W. From find scatters to early Hominid behaviour. Analecta Praehistorica Leidensia 1989, 21.

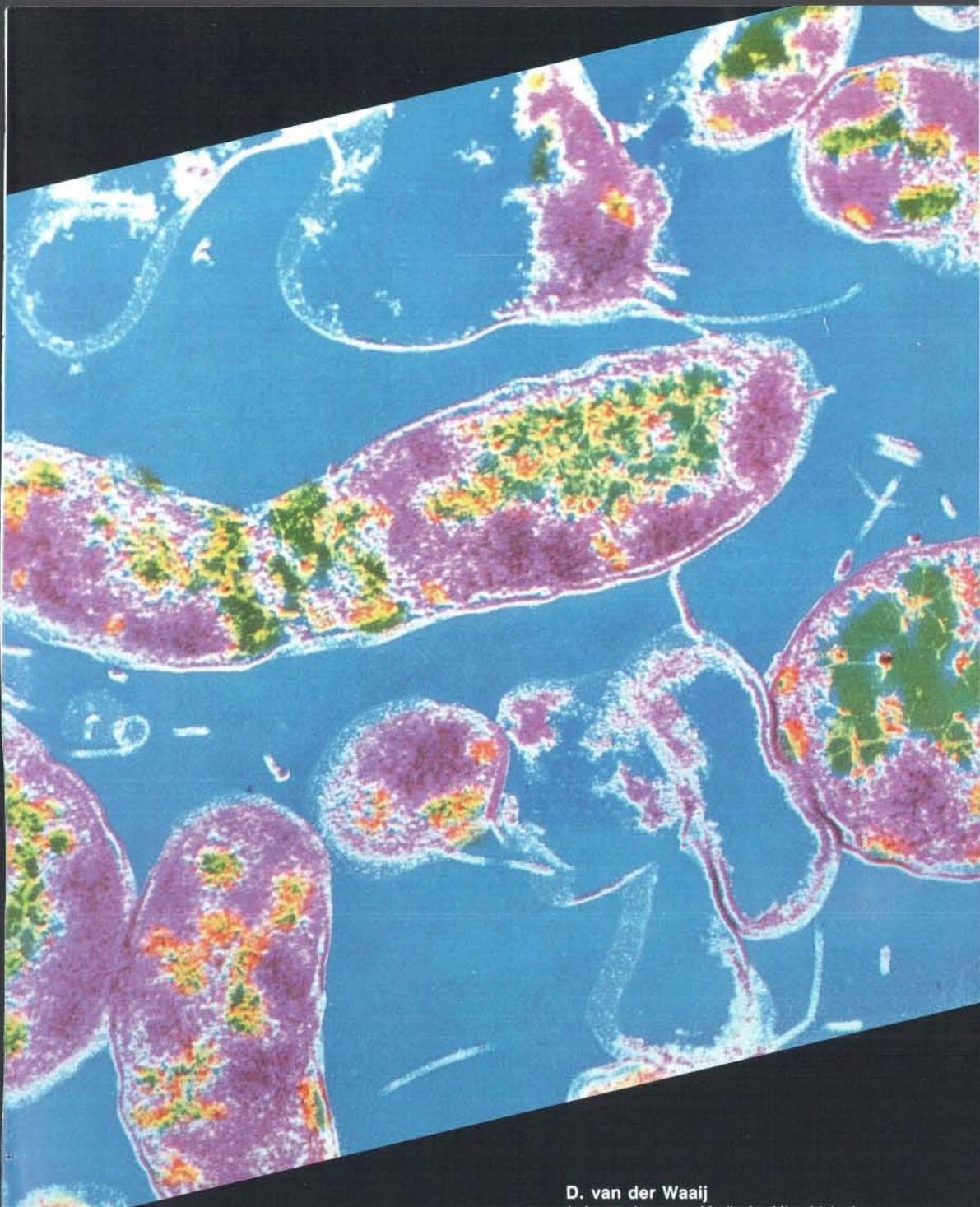
#### Bronvermelding illustraties

- Friso Henstra, 's-Gravenhage: pag. 470-471  
 Dr. H. Mücher, UvA: 6  
 Prof dr J. Vandenberghe: VU Amsterdam: 7  
 J. Paupit, IPL: I-1, 8, 10, 11, 13  
 De overige illustraties zijn van de auteur

Bacteriën worden meestal in verband gebracht met infecties en ziekten. Toch zijn maar weinig bacterie-soorten ziekteverwekkend. Voor de meeste hoeven we niet bang te zijn. Integendeel, veel bacteriesoorten hebben we zelfs nodig om gezond te blijven. Een belangrijke groep daarvan vormen de bacteriën die zich in ons spijsverteringskaal genesteld hebben. Bij de geboorte begint zich daar een darmflora te ontwikkelen. Tussen deze flora en de mens ontstaat een intensieve samenwerking die zeer belangrijk is voor onze gezondheid.

# BONJOUR BACTERIËN





D. van der Waaij

Laboratorium voor Medische Microbiologie  
Rijksuniversiteit Groningen

# DE BACTERIËN VAN HET DARMKANAAL

Bacteriën vinden we overal op aarde, ook in en om ons lichaam: op de huid, in de mond en in de rest van ons spijsverteringskanaal. Een enkele bacterie kan voorkomen in de lucht- en urinewegen, maar hoort daar niet. Op zich genomen is dit allemaal nog 'buitenwereld'. Pas als de beschermende wand om deze organen is gepasseerd, bevinden bacteriën zich echt *in* het lichaam, in de verschillende weefsels of zelfs in enkele gevallen in de bloedbaan. In het algemeen zitten er in en op ons lichaam enige honderden malen meer bacteriën dan we lichaamscellen hebben.

Temidden van de bacteriën komen overigens ook nog schimmels, virussen en parasieten voor. In dit artikel blijven die verder buiten beschouwing. We richten ons hier alleen op de bacteriën, en dan alleen nog op die welke zich in ons spijsverteringskanaal bevinden. In het algemeen worden deze aangeduid als de *darmflora* of de *microflora* van het spijsverteringskanaal.

In tegenstelling tot virussen, parasieten en sommige schimmels zijn de meeste bacteriesoorten voor de mens onschadelijk, en in vele gevallen zelfs bevorderlijk voor de gezondheid. Daarnaast zijn er echter ook ziekteverwekkende of *pathogene* bacteriën. Bekende voorbeelden hiervan zijn de veroorzakers van tuberculose, tyfus, cholera, difterie, kinkhoest en roodvonk. Tenslotte zijn er nog *potentieel pathogene* bacteriën; zij zijn onschuldig voor normaal gezonde mensen; ze kunnen alleen verzwakte mensen ziek maken. Deze organismen zijn gewoonlijk niet in staat om in voldoende grote aantallen door het intakte slijmvlies heen te dringen en daardoor blijft een infectie meestal uit.

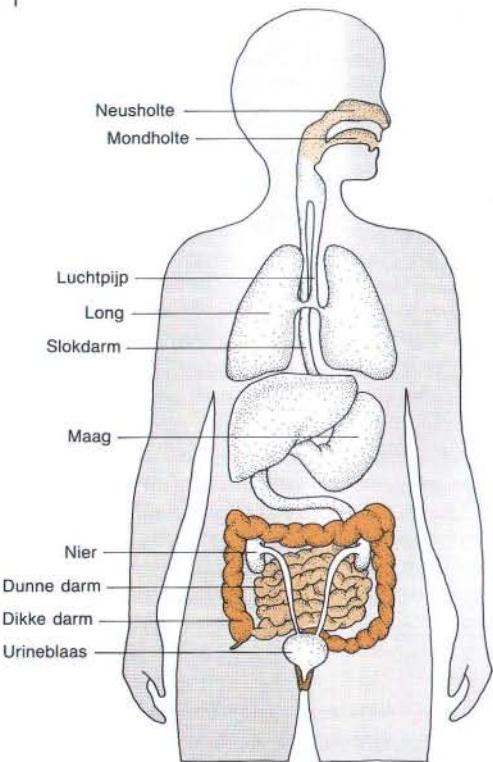
De darmflora bevindt zich, de naam zegt het al, vooral in de darmen, en dan met name in de dikke darm, maar ook in mond- en keelholte. Uiteraard bevinden er zich ook bacteriën in de voortbewegende voedselbij, maar voor een langduriger, optimale werking is het nodig dat ze zich gevestigd hebben in het slijm dat de binnenzijde van een groot deel van het spijsverteringskanaal bekledt. Vanuit die strategische positie kunnen ze vervolgens massaal alles besmetten wat er langs komt en zorgen dat het voedsel nog verder verteerd wordt dan enzymen uit darm en alvleesklier al deden. Het darmlijmvlies is het eigenlijke leefmilieu van onze microflora.

### Met de papplepel ingegeven?

Tot op het moment van de geboorte hebben baby's geen bacteriën bij zich, ook niet in hun spijsverteringskanaal. Kinderen die langs natuurlijke weg geboren worden, krijgen er meteen een aantal mee: op het moment dat zij de vagina van de moeder passeren raken ze besmet met allerlei bacteriesoorten die zich daar gehuisvest hebben. Aangezien de uitgang van de vagina in de buurt van de anus, de uitgang van de darm, zit, is het niet verwonderlijk dat de bacterieflora van de vagina sterk lijkt op de flora die de dikke darm heeft gekoloniseerd. Kinderen die door middel van een keizersnede ter wereld komen, komen het eerst in contact met de bacteriële flora van verpleegkundigen en artsen. Pas later krijgen ze geleidelijk contact met de darmflora van de ouders. Welke soorten uit dit repertoire zullen bij de baby aanslaan?

Verderop zullen we uitvoeriger ingaan op de factoren die hierbij een rol spelen. Op dit moment is het vooral van belang of de bacteriën

1



zich kunnen vestigen in de slijmlaag van de darmwand, zodat ze niet meteen worden meegesleurd met de voedselstroom. In het algemeen zullen alle bacteriesoorten die zich bij de moeder hebben kunnen nestelen ook aanslaan bij de baby. Het bijzondere is evenwel dat ze terechtkomen in een milieu dat aanvankelijk nog via het slijmvlies zuurstof krijgt aangevoerd vanuit de bloedvaten. Na enkele dagen daalt de zuurstofconcentratie, doordat er zich *aërobe* (zuurstofverbruikende) bacteriën vestigen. Daardoor krijgen *anaërobe* bacteriën geleidelijk een kans ten koste van hun *aërobe* voorgangers.

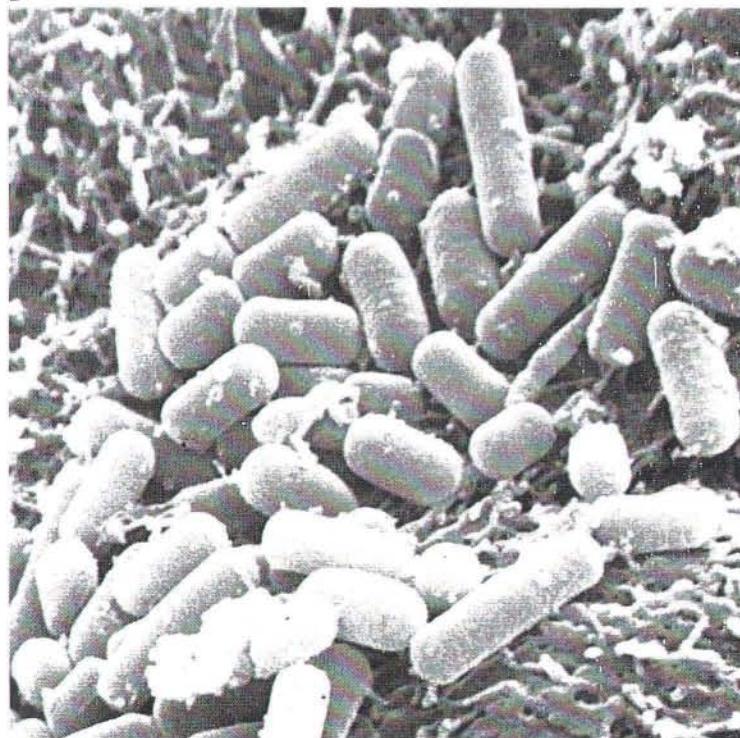
Helaas zijn er over deze ontwikkeling nog relatief weinig details bekend, omdat het kweken van *anaërobe* bacteriën technisch veel moeilijker is dan het kweken en identificeren van *aërobe* bacteriën.

Krijgt de baby in deze fase melk van de moeder, dan komen er met die melk ook antistoffen van de moeder mee, waaronder die welke zij tegen potentieel pathogene indringers in haar eigen spijsverteringskanaal heeft ge-

maakt. Gewoonlijk worden dergelijke antistoffen bij de moeder in het slijm afgescheiden, maar tijdens het zogen komen ze via de melkklieren ook in de melk terecht. Hoewel antistoffen proteïnen zijn, wordt een bepaalde type hiervan, het immunglobuline A (IgA), door zijn bijzondere structuur beschermd tegen enzymatische afbraak in maag en darmen. Ook bij de baby blijven deze antistoffen in de darm intact. Ze kunnen zich nu aan het oppervlak van (potentieel) pathogene indringers hechten, die door het immuunsysteem van de moeder als ongewenst worden herkend. Hierdoor ontstaan grote conglomeren van zulke bacteriën die niet meer via het darmlijmvlies in het lichaam van de baby kunnen binnendringen, maar ook niet in het slijmvlies kunnen blijven.

In het begin wordt de baby meestal alleen blootgesteld aan de ziekteverwekkers waar de moeder mee te maken heeft (gehad). De baby hoeft dus niet meteen zijn eigen afweersysteem (immuunsysteem) in te schakelen. Daarom kan het een voordeel zijn dat een baby op-

2



1. In dit schematisch overzicht van het spijsverteringskanaal is met verschillende tinten aangegeven hoe dicht de diverse onderdelen met bacteriën van de microflora bezet zijn. De grootste dichtheid vinden we in de dikke darm; de op een na grootste in de neus- en mondholte.

2. Deze scanningelektronenmicroscopische opname toont een groepje lactobacillen dat is aangehecht aan het slijmvlies van de maag van een muis. Voor de meeste soorten uit de darmflora is het milieu in dit deel van het spijsverteringskanaal te zuur om in te overleven.

groeit in de buurt van zijn ouders en broertjes en zusjes: in die omgeving is herkenning en bestrijding van ziekteverwekkers meestal gewaarborgd.

Vaak ligt de situatie iets anders. Vele baby's in Nederland en België krijgen vanaf de geboorte koemelk waarin bijna geen antistoffen zitten tegen de indringers waarmee de baby onmiddellijk te maken krijgt. Bovendien is de melk meestal gepasteuriseerd, dat wil zeggen verhit geweest tot 70°C, waardoor de oorspronkelijk aanwezige antistoffen hun werkzaamheid hebben verloren. Toch treden er in dergelijke gevallen niet overmatig veel infecties op. Dit komt door de goede hygiënische omstandigheden, waaronder baby's in onze westerse cultuur gewoonlijk opgroeien, want normaal gesproken functioneert hun eigen afweersysteem nog nauwelijks.

Tijdens de overgang van melk op vaste voeding begint de microflora geleidelijk steeds meer te lijken op die van een volwassene. Dat is al merkbaar aan het einde van het eerste le-



## ■ Immunitet ■

Wanneer bacteriën door de slijmvliezen dringen, ontmoeten ze altijd wel enkele witte bloedcellen, die antistoffen gaan produceren. Ontsnappen ze daaraan, dan moeten ze altijd nog de lymfeklieren of zelfs de milt passeren, waar ze worden opgevangen door *fagocyten*, een type witte bloedcel dat indringers 'opeet'. Bovendien zitten daar nog twee andere soorten witte bloedcellen: *T-lymfocyten* uit de *thymus* (zwezerik) en de *B-lymfocyten* uit het beenmerg. T-lymfocyten hebben geleerd bepaalde indringers als vreemdelingen te herkennen en ze helpen mee om B-lymfocyten te activeren tot de produktie van de juiste antistoffen. Naast deze zogenaamde *T-helpercellen* zijn er nog *T-suppressorcellen*, die ervoor zorgen dat een immuunreactie niet eindeloos doorgaat. Bij een invasie van ziekteverwekkende bacteriën ontstaan T-suppressorcellen pas zeer laat in grote aantallen, zodat aanvankelijk op grote schaal antistoffen kunnen worden aangemaakt.

De thymus of zwezerik is een orgaan dat bij de mens achter het borstbeen ligt, ter hoogte van de bovenkant van het hart. Bij jonge kinderen is de thymus nog uiterst actief. Vanuit het beenmerg komen bepaalde bloedcellen via de bloedstroom in de thymus om zich daar verder te ontwikkelen tot T-lym-

focyten. Sommige daarvan blijken de vorming van antistoffen tegen het *eigen* lichaam te bevorderen; hun activiteit wordt tegengewerkt door T-suppressorcellen. Bij dat proces worden ook de bacteriën van de zich ontwikkelende microflora betrokken. Ze worden zodoende als deel van het lichaam beschouwd en het immuunsysteem zal er ook later in het leven geen afweer tegen ontwikkelen. De overige T-lymfocyten worden 'goedgekeurd' en de thymus geeft ze aan de bloedsomloop vrij om zo nodig in de aanval te kunnen gaan. Zolang de thymus bezig is met de selectie van T-lymfocyten kan het immuunsysteem van de pasgeborene dus nog moeilijk onderscheid maken tussen bacteriën, die als vaste bewoners in aanmerking komen, en ongewenste bacteriën.

Vlak na de geboorte heeft het immuunsysteem van de zuigeling nog enige tijd de neiging om T-suppressorcellen te maken en daardoor nog niet te reageren op vreemde cellen en stoffen van buiten het lichaam. Het immuunsysteem kan kort na de geboorte dus nog gemakkelijk aangeleerd krijgen dat niet alles van buiten het lichaam aangevallen moet worden. Toch is een baby niet weerloos als zijn moeder bij de geboorte aan een darminfectie lijdt en hij met haar ziekteverwekkers in aanraking komt. De moeder



3. Moedermelk biedt een baby pasgeboren voeding. De samenstelling van de melk is goed afgestemd op de behoeften van het kind. Een belangrijk onderdeel daarvan vormt immunglobine A, een antibioticum dat in de darm een belangrijke pijler is van het afweersysteem. Borstvoeding is niet alleen biologisch opzicht van groot belang. Emotioneel draagt het sterk bij aan het leggen van een band tussen moeder en kind.

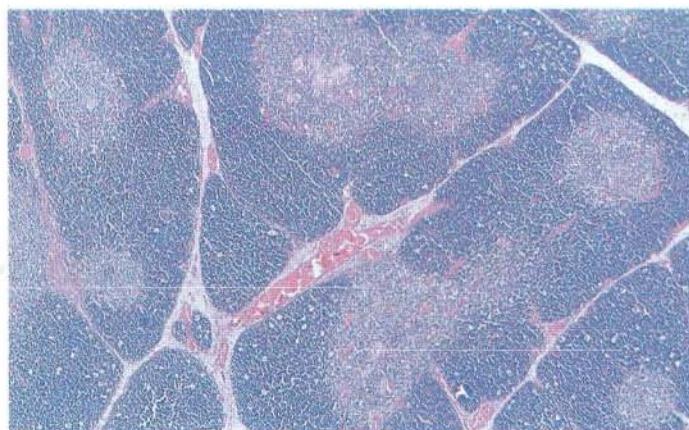
vensjaar, maar soms kan het wel vier jaar duren voordat de 'volwassen' microflora volledig gevormd is. De belangrijkste factor hierbij is waarschijnlijk de hoeveelheid van onverteerbare deeltjes in de voeding. Deze bieden een ideale groeiplaats voor gemengde kolonies die elkaar kunnen helpen om uit te groeien. Op deze manier wint de volwassen microflora geleidelijk terrein.

Na enige tijd is de microflora tot een *lichaamseigen* flora geworden. Dit betekent dat ons afweersysteem een onderscheid maakt tussen de bacteriën van de eigen darmflora en ongewenste binnendringers die niets in onze ingewanden te zoeken hebben. Het immuunsysteem moet de vaste bewoners met rust laten en hen als het ware tot het lichaam rekenen. Aan het begin van het leven, als het immuunsysteem nog niet zo uitgesproken reageert als later, 'leert' het lichaam om dit onderscheid te maken. Dit leerproces speelt zich af in de zwerzerik, een orgaan dat bij jonge kinderen nog prominent aanwezig is (zie Intermezzo I).

## INTERMEZZO I

maakt namelijk al antistoffen en die krijgt de zuigeling met de moedermelk toegediend. Bij volwassenen is dit 'leerproces' veel moeilijker geworden, al is gebleken dat ook zij bij een voldoende grote en aanhoudende invasie van de plaques van Peyer, delen van het immuunsysteem in de darmwand, nog kun-

nen 'leren' om deze indringers alsnog in het slijmvlies toe te laten. Hiervoor is het noodzakelijk dat de thymus nog in staat is onrijpe T-cellen om te scholen tot rijpe T-cellen. Na het veertigste levensjaar neemt dat vermogen geleidelijk af, bejaarden zijn daardoor heel kwetsbaar voor infecties.



I-1. Een lichtmicroscopische opname van een doorsnede door de thymus toont de verdeling in schors (donkere delen) en merg (lichte delen). De T-lymfocyten komen in groten getale voor in de schors.

I-1

## Onze bondgenoten

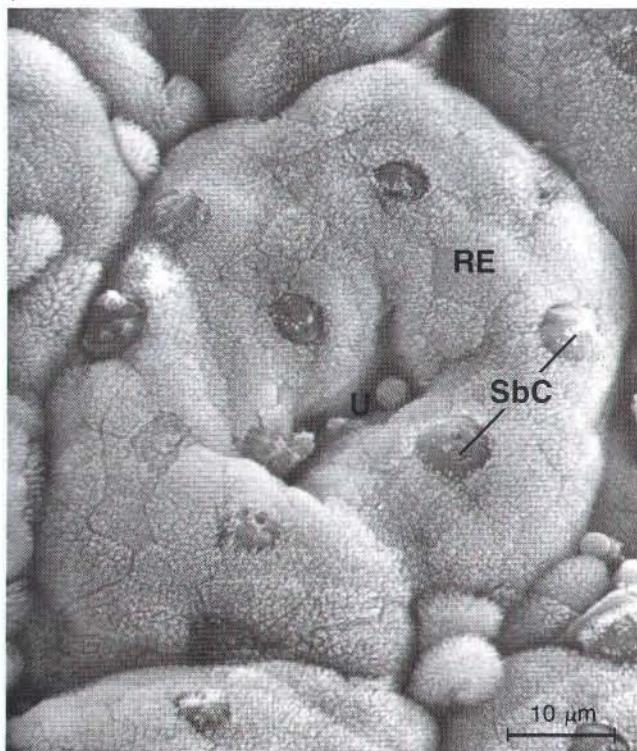
In de vorige eeuw beweerde Pasteur al dat mens en dier niet kunnen leven zonder bacteriën. Later bleek dat kiemvrije dieren onder steriele omstandigheden even lang kunnen leven als hun soortgenoten in de buitenwereld. In de jaren zestig is echter gebleken dat Pasteur toch gelijk had: zodra kiemvrij gemaakte mensen en dieren aan de buitenwereld worden blootgesteld, hebben ze enige tijd nodig om een eigen beschermende flora op te bouwen. Dit impliceert dat ze nog tijdens hun verblijf in een speciale kiemvrije isolator met een bij de diersoort passende microflora moeten worden besmet. Een of twee weken later kunnen ze onder goede hygiënische voorzorgen aan de buitenwereld worden blootgesteld.

De meeste bacteriesoorten zijn niet pathogen. Vele soorten zijn zelfs een onmisbare bondgenoot in onze strijd tegen pathogene en potentieel pathogene bacteriën, onder andere in ons spijsverteringskanaal. We hebben ge-

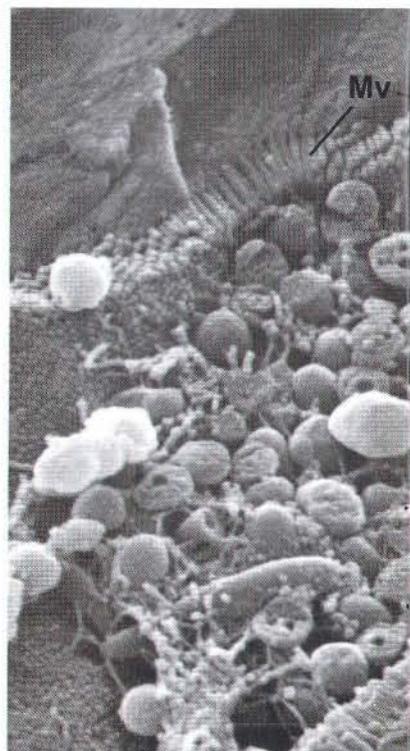
zien dat dit samenwerkingsverband zelfs zover gaat dat ons lichaam de niet-pathogene gasten immunologisch als een gedeelte van zichzelf is gaan beschouwen; zij zijn de vaste bewoners van ons spijsverteringskanaal. We leven met hen in een bondgenootschap dat gebaseerd is op wederzijds voordeel; we noemen dat een *mutualistische vorm van symbiose*. Hoe zit dat bondgenootschap in elkaar?

Het is duidelijk dat de bacteriën ervan profiteren: zij vinden voedsel in overvloed en bescherming als toegift. Maar omgekeerd geldt hetzelfde: onze vaste microflora beschermt ons tegen ongewenste indringers, zoals we verderop nog zullen zien. Bovendien vervullen deze onmisbare bacteriën nog een aantal specifieke functies. Ze stimuleren de peristaltische spierbewegingen van de darmwand, ze bevorderen de aanmaak van bloed in het beenmerg en ze prikkelen het slijmvlies om meer slijmcellen en slijm te produceren. Daarmee dragen ze indirect weer bij aan een betere bescherming tegen ongewenste kolonisatie.

4



5



Het kan wel eens gebeuren dat een bepaalde darmflora onverwachte en onprettige bijverschijnselen vertoont. Zo zijn er bacteriën die zuren uit de gal omzetten in cholesterol dat weer opgenomen wordt in het bloed. Wanneer deze bacteriën verdwijnen leidt dat dus tot een verminderde cholesterolopname in het bloed en daardoor mogelijk tot een geringere kans op aderverkalking. Voor mensen met een cholesterolprobleem is verhoogde cholesterolproductie in de darm ongewenst.

Bijverschijnselen komen wel meer voor, met name onder minder alledaagse omstandigheden, bijvoorbeeld wanneer mensen bepaalde (genees)middelen innemen die, vaak geheel onverwacht, door bepaalde bacteriën uit de darmflora enzymatisch afgebroken blijken te worden. Dat is onder andere bekend van antibiotica en hormoonpreparaten, bijvoorbeeld de anticonceptiepil. Deze middelen kunnen bij sommigen mensen door de microflora onwerkzaam worden gemaakt. Gelukkig komt dit verschijnsel vrij zelden voor.

### Nieuwe invasies

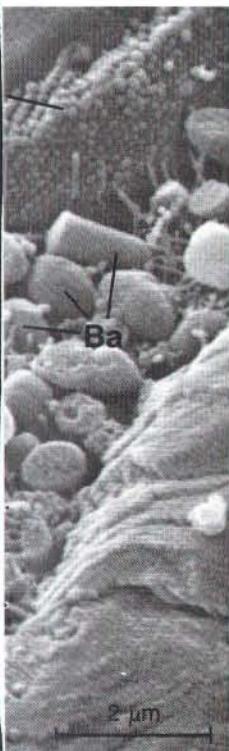
Ook wanneer de 'volwassen' flora eenmaal is gevormd, komen er met voedsel en drank nog voortdurend nieuwe bacteriën in de mond. Nieuwe soorten kunnen zich daar maar zelden voor langere tijd vestigen. Anders gezegd: kolonisatie is een zeldzaamheid, en daardoor leidt besmetting met kleine aantallen ziektekienmen zelden tot ziekte. Waar hangt het van af of kolonisatie in een 'volwassen' flora mogelijk is?

Koloniseren is voor bacteriën een strijd op leven en dood, met vele hindernissen. Een nieuwe bacteriesoort die zich ergens wil vestigen krijgt te maken met een drietal hindernissen: het spijsverteringskanaal waarin de soort terecht komt, de andere bacteriesoorten die zich al hebben gevestigd en het afweersysteem van het menselijk lichaam. Dit geheel van hindernissen zorgt ervoor dat kolonisatie door nieuwe soorten in vele gevallen niet of nauwelijks mogelijk is. Het vermogen om de vestiging van nieuwe, vaak schadelijke bacteriën te voorkomen noemen we *kolonisatierezistentie*.

De eerste hindernis voor kolonisatie is de zuurgraad en de passagesnelheid van het voedsel in bepaalde delen van het spijsverteringskanaal van de gastheer. Daardoor zal een nieuwe soort zich niet altijd thuisvoelen in dit spijsverteringsmilieu. Het kan zijn dat de omgeving te zuur is; de maag met zijn pH van ongeveer 3 is in dit opzicht een moeilijke barrière. Toch moeten we deze hindernis niet overschatte. Enerzijds is het gebleken dat van de ingeslikte spijsbrokjes alleen de buitenkant met het zuur in contact komt en dat bacteriën die er binnenin zitten de relatief korte verblijfsduur in de maag wel overleven. Anderzijds kan drank zo snel de maag passeren, vooral als hij leeg is, dat de aanwezige bacteriën gemakkelijk overleven. Bovendien moeten we bedenken dat de nieuwe indringer gewoonlijk wordt doorgeslikt. We zien dan ook dat tijdens de slaap, wanneer er weinig wordt geslikt, het aantal bacteriën in de mond sterk toeneemt. Hetzelfde gebeurt in de darmen wanneer de peristaltiek door bijvoorbeeld narcose vertraagd is. Bacteriën die zijn doorgeslikt, worden afgevoerd naar het eindpunt van het spijsverteringskanaal, tenzij zij zich kunnen hechten aan het slijmvlies van de mond of van het maag-darmkanaal. Daarvoor is het nodig dat de

4. Een scanningelektronenmicroscopische opname van de binnenste bekleding van de dikke darm bij een vergroting van 1410x. Goed zichtbaar zijn de afzonderlijke epitheliecelen, die zijn gerangschikt rond de uitgang van een darmklier en bekleed met microvilli om een zo groot mogelijk resorberend oppervlak te krijgen. De kale plekken zijn de slijmbekercellen, die het darmsslijm produceren.

5. Op deze opname zien we talrijke bacteriën liggen op de microvilli van de epitheliecelen (9985x).



nieuwe soort over de juiste enzymen beschikt om zich in de darmwand te vestigen en afgestoten darmwandcellen en het aanwezige slijm als voedingsstof te gebruiken. Maar vele bacteriën waren er al eerder. Daarmee stoten we op de tweede hindernis.

De tweede belemmering voor kolonisatie wordt gevormd door de reeds aanwezige bacteriesoorten. Die laatste hebben zich kort na de geboorte een plaatsje kunnen veroveren op het druk bezochte slijmvlies, doordat ze over de enzymen beschikken om het slijm als voedingsbron te gebruiken, zodat ze zich massaal op het slijmvlies konden vestigen. Ze zijn zo goed ingespeeld op de situatie ter plaatse dat nieuwkomers in het algemeen weinig kansen krijgen. Bovendien is het aantal bacteriën in het maagdarmkanaal zeer groot vergeleken met het aantal dat via een maaltijd binnenkomt. In een normale maaltijd komt het aantal zelden boven de  $10^6$ , terwijl het spijsverteringskanaal er zo'n  $10^{14}$  bevat. Deze vaste bewoners hebben zich al op het slijmvlies geves-

tigd, ze zijn geselecteerd op hun vermogen om van het aangeboden voedsel (darmslijm) te leven, het immuunsysteem laat hen met rust en ze produceren ook nog stoffen die voor andere bacteriesoorten giftig kunnen zijn.

De derde hindernis is ons afweersysteem: wordt de nieuwkomer aangevallen of niet? Als een nieuwe soort de eerste hindernis heeft genomen – en zich thuisvoelt in ons spijsverteringskanaal – en ook de tweede hindernis is gepasseerd – en dus is geaccepteerd door andere kolonies – is het nog mogelijk dat het afweersysteem in de aanval gaat. Het afweersysteem werkt pas zodra het in contact komt met de nieuwkomer of wanneer er voordien ooit contact is geweest. Waarschijnlijk dringen er voortdurend enkele bacteriën door het slijmvlies van vooruit geschoven posten van het immuunsysteem in de darmwand, de *plaques van Peyer*, heen. Pathogene bacteriën zijn er zelfs meesters in om zo'n doorbraak te forceren, ook buiten deze plaques. In beide gevallen stuiten zij al snel op enkele witte bloed-

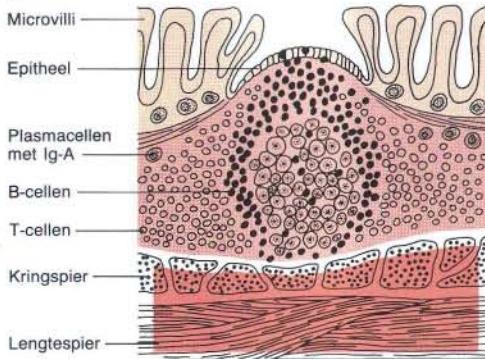
6



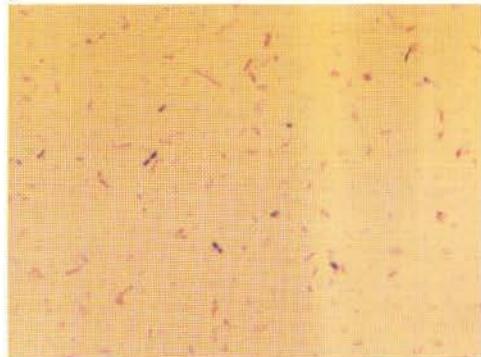
6 en 7. Een doorsnede door een plaque van Peyer (6), met een schematische afbeelding ervan (7). Deze plaques komen op regelmatige afstanden in het slijmvlies van vooral de dikke darm voor. Het zijn lymfeknopen die grote hoeveelheden lymfocyten produceren, die bij infectie van het darmlijmvlies onmiddellijk ter plekke zijn om de indringers aan te vallen.

8. De rijkdom van de darmflora verraadt zich wanneer we een preparaat van de bacteriën in de ontlasting van een gezond persoon onder de microscoop bekijken. De enorme variatie in grootte en vorm springt in het oog. Zelfs een ervaren laboratoriummedewerker heeft lange tijd nodig om enige orde in deze chaos te scheppen.

7



8





9

9. Voor de behandeling van sommige aandoeningen, bijvoorbeeld een beenmergtransplantatie bij leukemie, is het nodig om de patiënten in een kiemvrije ruimte te verplegen om zoveel mogelijk de bacteriën uit het maagdarmkanaal te kunnen verwijderen. Om deze toestand enkele weken verantwoord te laten voortduren, worden de patiënten in een kiemvrije ruimte verpleegd. Deze *laminar down-flow isolator* staat op de afdeling kindergeneeskunde van de Rijksuniversiteit Leiden. Wanneer de patiënt voldoende hersteld is, moet hij weer voorzichtig besmet worden met de onder normale omstandigheden van nature aanwezige darmbacteriën.

cellen. Is er eenmaal contact geweest tussen de ongewenste indringer en het immuunsysteem in de plaques van Peyer, dan kan het lichaam voortaan de juiste antistoffen (IgA) maken. Als de ongewenste bacteriën nog eens binnendringen, worden die antistoffen in het slijm afgescheiden, waarna ze in het maagdarmkanaal tot de aanval overgaan.

#### Uit balans

Dank zij deze hindernissen wordt de samenstelling van de 'volwassen' microflora zelden verstoord; pathogene bacteriën krijgen daar door de kans niet om zich in de darmen, en vervolgens in het lichaam te vestigen. Maar er kunnen natuurlijk verstoringen van de kolonisatieresistentie optreden. Allereerst zijn er verstoringen van buiten mogelijk.

De nieuwkomers kunnen in zulke grote aantallen binnengaan, dat ze toch in staat zijn een plaatsje te veroveren op het slijmvlies. Dit is vooral het geval onder uiterst onhygiënische omstandigheden. Maar ook dan is er gelukkig nog een laatste wapen: het afweersysteem. Verder zou men verwachten — omdat bacteriën een duidelijke voedsel voorkeur vertonen

— dat verandering van dieet invloed heeft op de samenstelling van de microflora. Over de invloed van het dieet op de darmflora is nog weinig bekend. De samenstelling van de darmflora is namelijk zo complex dat een ervaren laboratoriumwerker, bij de huidige stand van onderzoekstechnieken, maanden nodig heeft voor de analyse van één faecesmonster. Daarom beperkt het onderzoek zich tot het identificeren van groepen van bacteriesoorten. Voor zover we echter kunnen nagaan heeft zelfs een sterke verandering van dieet, bijvoorbeeld van zuiver vegetarisch eten met veel koolhydraten naar een koolhydraatarm dieet met overwegend of uitsluitend dierlijke eiwitten en vetten, hooguit een modulerende invloed op de samenstelling van de darmflora. Dat wil zeggen dat er alleen kwantitatieve verschuivingen optreden. Sommige soorten nemen dus in aantal toe, andere af. Bacteriën die tot de eigen flora behoren en het nieuwe voedsel enzymatisch aankunnen, nemen hooguit in concentratie toe, maar krijgen nooit het monopolie.

Een andere bedreiging voor de darmflora is het gebruik van antibiotica. Een antibioticum dat een breed werkingsgebied heeft, werkt namelijk niet alleen op de plaats van de infectie,

maar kan ook de eigen darmflora van de mens aantasten. Vanaf dat moment kan het spijsverteringskanaal vrij gemakkelijk gekoloniseerd worden door een speciale categorie bacteriën, de *resistente* bacteriën (zie Intermezzo II). Ze hebben immers het rijk alleen. Wanneer de behandeling met antibiotica voorbij is, moet de microflora hersteld worden. De wederopbouw gaat waarschijnlijk sneller naarmate de nieuwe flora meer lijkt op die van vóór de behandeling. Dat is het beste te realiseren in een omgeving die veel van de oude floracomponenten bevat – en dat is thuis, niet in het ziekenhuis.

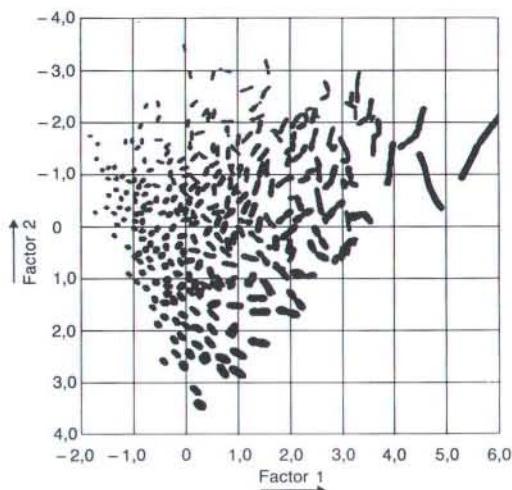
Verandering van dieet of het gebruik van antibiotica vormen verstoringen van buitenaf. Natuurlijk kunnen er ook inwendige problemen zijn. De kans op een infectie is het grootst als er een geschikte 'landingsplaats' voor de bacteriën vorhanden is. Door een allergische ontsteking van het slijmvlies kunnen indringers zich er soms een plaatsje op veroveren, waardoor kolonisatie een feit wordt. Het hangt dan van het toeval af of de nieuwe indringer een vriend of een vijand is. Het kan ook voorkomen dat er door een wond of door het ontbreken van voldoende slijmbekercellen een open plek op het slijmvlies is, zodat (potentieel) pathogene indringers een kans krijgen om zich gemakkelijk door het slijmvlies naar binnen te dringen. Thuis merkt men meestal weinig van die verminderde kolonisatieresistente, omdat de ongewenste binnendringers in het algemeen oude bekenden van het immuunsysteem zijn. Daardoor komt de produktie van antistoffen snel op gang en wordt de infectie effectief bestreden. Wanneer die invasie echter het gevolg is van een verblijf in gebieden waar de voedselbereiding minder hygiënisch gebeurt, dan is de kans op infectie vergroot, doordat er dan meer ongewenste en onbekende indringers zijn.

### Nieuwe ontwikkelingen

In de geneeskunde is het vaak van groot belang snel geïnformeerd te zijn over de afweercapaciteit van een patiënt. De afweer tegen infecties wordt weliswaar voor een belangrijk deel verzorgd door het immuunsysteem, maar de eerste verdedigingslinie tegen binnendringers in het spijsverteringskanaal is de darmflora. Het onderzoek van de darmflora is een moeizame en tijdrovende bezigheid en het levert vrij op-

10. De uiterst onoverzichtelijke bacteriemonsters uit de ontlasting kunnen door een computer snel op grootte en vorm gerangschikt worden. De compu-

ter heeft ongeveer 2½ uur nodig om circa 1500 bacteriën op te meten en op grootte te rangschikken.



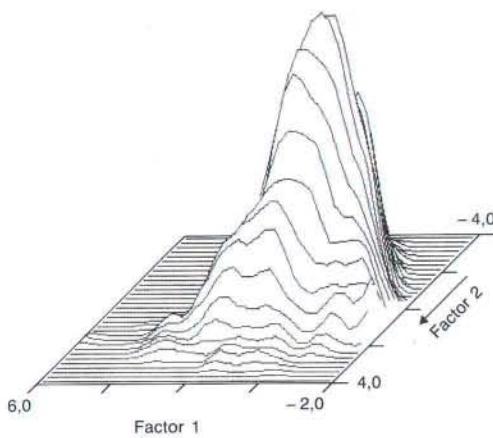
### Resistentie tegen antibiotica

Waarschijnlijk bestaan er al antibiotica zolang er bacteriën en schimmels op aarde zijn. Voor het bestrijden van bacteriën beschikken schimmels over antibiotica, stoffen die de stofwisseling van bacteriën blokkeren. Veel van de antibiotica die door artsen worden voorgeschreven zijn chemische varianten van deze antibiotica. Een bekende groep vormen de *béta-lactam* antibiotica, waartoe de penicillines en cephalosporines behoren. De tegenpartij, op haar beurt, beschikt in vele gevallen over een enzym, bijvoorbeeld *béta-lactamase*, dat in staat is een bepaald antibioticum af te breken. Wanneer een bacterie over de genetische informatie beschikt om het benodigde enzym te produceren, spreken we van *resistentie*. Hoe komt een bacterie aan deze informatie? Er zijn minstens drie manieren.

De eerste en tevens meest basale methode is het optreden van een *mutatie*: er verandert iets in de erfelijke informatie van de bacterie waardoor deze plotseling het antibioticum kan inactiveren en resistent is. Een andere mogelijkheid is dat de informatie al aanwezig is, maar onbenut blijft. Door een *prikkel uit de omgeving*, bijvoorbeeld het toedienen van een antibioticum, kan de bacterie plotseling geprickeld worden om de latente informatie voor resisten-

11. De computer is ook in staat om van hetzelfde monster aan te geven hoeveel bacteriën van een bepaalde grootteklasse in het monster voorkomen.

De coördinaten in het horizontale vlak zijn dezelfde als die van afbeelding 10. De hoogte van de pieken geeft de aangetroffen hoeveelheden weer.



11

pervlakkige informatie over de toestand ervan. Soms moeten bacteriën uit faecesmonsters gelegenheid krijgen om zich te vermenigvuldigen alvorens men ze kan onderzoeken. Daarmee gaat veel tijd verloren. Microscopisch onderzoek van faecesmonsters levert te onnauwkeurige resultaten op.

Nu het mogelijk is beeldinformatie met een computer te verwerken, zijn er computersystemen in ontwikkeling die, gekoppeld aan microscopen, in staat zijn om in een veel hoger tempo en met een veel grotere nauwkeurigheid dan voor menselijke onderzoekers mogelijk is, microscooppreparaten van faeces te onderzoeken. Een preparaat kan in zijn geheel onderzocht worden en de beeldherkenningsprogrammatuur brengt aantalen, vormen en afmetingen van de aangetroffen bacteriën in kaart (afb. 10 en 11). Daardoor wordt het mogelijk sterke veranderingen in de samenstelling van de microflora ten gevolge van behandeling met antibiotica of ziekteprocessen snel op te sporen.

## INTERMEZZO II

tie te activeren. Een derde methode is dat bacteriën onderling *genetische informatie uitwisselen* en daarbij de resistentie aan elkaar overdragen.

Het zal duidelijk zijn dat het toedienen van een antibioticum een sterke verandering in de samenstelling van een bacterieflora kan oproepen. De niet-resistente organismen zullen, afhankelijk van de toegediende dosis en van hun eigen voortplantingssnelheid, meer of minder snel het loodje leggen. Daar tegen ontstaan er ongekende kansen voor de organismen die al resistent zijn, hun resistentie kunnen activeren of die tijdig van andere bacteriën resistentie kunnen overnemen. Binnen korte tijd kan er een flora ontstaan die volledig resistent is tegen een antibioticum dat voor de bestrijding van deze bacterie voortaant nutteloos is.

Doordat er in onze samenleving in zoveel gevallen al zoveel typen antibiotica gebruikt worden, is de resistentie van bacteriën tegen veelgebruikte antibiotica enorm toegenomen. Dit geldt intussen ook – en dat is dan de positieve kant van de zaak – voor onze microflora. Eén of meer soorten hiervan breken antibiotica die de darm bereiken enzymatisch snel af, zodat ze inactief worden en de hele eigen darmflora onaangestast blijft.

### Bronvermelding illustraties

Science Photo Library/Joël: pag. 482-483.

J.P. Koopmans, Centraal Dierenlaboratorium KU Nijmegen: 2.

Taeke Henstra, Haarlem: 3.

J. v.d. Tweel, AMC Amsterdam: 1-1.

Uit: Kessel R, Kardon R: Cellen, weefsels en organen: Maastricht: Natuur en Techniek, 1983: 4 en 5.

Prof P. Nieuwenhuis, Laboratorium voor Histologie en Celbiologie RUG: 6

Prof J.M. Vossen, Afdeling Kindergeneeskunde, Academisch Ziekenhuis Leiden: 9.

De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur

# ANALYSE & KATALYSE

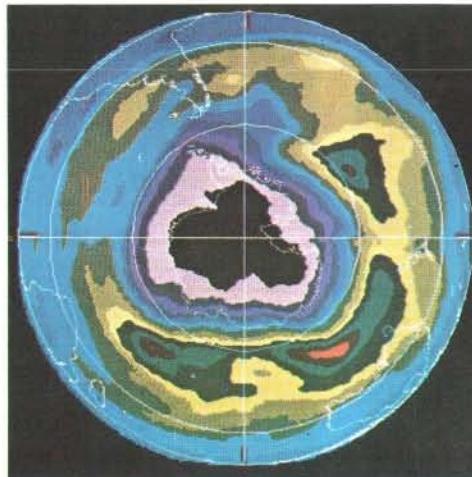
INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

## HET ABC VAN DE CFK's

*Ook dit keer blijkt hardnekkige aanwezigheid in het milieu hand in hand te gaan met de afwezigheid van agressieve eigenschappen*

SIMON ROZENDAAL



**Satelliet-**  
**opname van**  
**het gat in de**  
**ozonlaag boven**  
**Antarctica (Foto:**  
**NASA).**

Op het eerste gezicht lijkt het een gewone chemische fabriek. Destillatietorens, opslagtanks, pijpleidingen – veel pijpleidingen – en dreigende waarschuwingen (verboden te roken, in geval van brand dient men...). Slechts ingewijden bemerken dat in de Atochem-fabriek in Pierre-Bénite milieuvriendelijkheid de allerhoogste prioriteit heeft.

Voor hen is er een duidelijk signaal: overal op de opslagtanks komt men de cijfers 22 en 124b tegen. De chloor-

*fluorkoolwaterstoffen* met die nummers zijn op dit moment de belangrijkste alternatieven voor de gassen die de ozonlaag om de aarde dreigen aan te tasten.

Deze fabriek aan de rand van Lyon is een duidelijk bewijs: enerzijds van het feit dat er wel degelijk het een en ander wordt gedaan aan de dreiging, anderzijds dat het veel minder snel gaat dat menig-een die de natuur en het milieu een goed hart toe draagt, wil. Om met het positieve te beginnen: er is al een redelijke

productiecapaciteit van de *zachte* CFK's hier in Pierre-Bénite.

Zo'n dertigduizend ton per jaar, dat begint er op te lijken. Die dertigduizend ton is verdeeld over CFK 22 (20000 ton) en CFK 142b (10000 ton). Mondiaal gezien ogen de cijfers niet indrukwekkender. Atochem (onderdeel van de Franse chemiegigant Elf Aquitaine) produceert in de hele wereld zo'n 60000 ton CFK 22, de belangrijkste zachte CFK van dit moment. Dat is bijna eenderde van de totale wereldmarkt voor CFK 22, die 200000 ton bedraagt. En dan nu de slechte cijfers. De productiecijfers voor de *harde* CFK's – de stoffen die de beschermende ozonlaag om de aarde aantasten – overtreffen die van de alternatieven nog ruimschoots. In de wereld wordt nog zo'n 1,1 miljoen ton harde CFK's geproduceerd (vooral de nummers 11, 12 en 113). Ook in de fabriek van Pierre-Bénite geldt deze verhouding tussen de slechte en de goede CFK's: een productiecapaciteit van 130000 harde CFK's tegen 30000 ton zachte. En wie zich met Jean-Pierre Corbeil aan een Franse (en dus copieuze) lunch zet om

eens rustig over de nobele drijfveren van deze fabriksdirecteur te praten, merkt na enkele glazen *Pouilly Fumé* dat, wat natuurlijk eigenlijk voor de hand lag, de motieven om de zachte CFK's te produceren allereerst economisch en pas daarna milieuminrend van aard zijn.

CFK 22, de belangrijkste van de twee huidige zachte CFK's, is niet geproduceerd naar aanleiding van de commotie over de ozonlaag. Het lag al op de plank. Al meer dan tien jaar was het één van de koelmedia in koel- en vrieskasten. Wel weet men sinds kort dat CFK 22 ook kan worden toegepast als drijfgas in spuitbussen. In de tweede plaats is de interesse bij Atochem voor milieuvriendelijker CFK's pas ontstaan toen het bedrijf de ozonproblematiek in de portemonnee voelde. Corbeil:

"Sinds een jaar of twee loopt de verkoop van 11 en 12 voor spuitbussen dramatisch terug."

Hij schat dat in twee jaar tijd een daling van 40 à 45% in de produktiecapaciteit van de CFK's 11 en 12 is opgetreden. Van de twee fabrieken voor de bewuste CFK's die Atochem in Frankrijk had, heeft het bedrijf er één moeten sluiten en wordt in Pierre-Bénite de produktiecapaciteit maar voor 80 procent benut. En de alternatieven zetten nog maar weinig zoden aan de dijk. Corbeil: "De daling in de verkoop van 11 en 12 is nog niet gecompenseerd door de opkomst van 22 en 142b."

Bij Atochem zouden ze graag een sterkere stijging zien. Men stelt het bepaald niet op prijs dat de harde CFK's eerder worden vervangen door geheel andere chemicaliën zo-

als dimethylether, butaan en propaan. Het bedrijf wijst er op dat butaan en propaan brandbaar zijn en de bijnaam van dimethylether in de branche *boom-boom* is. Daarbij zal waarschijnlijk ook een rol spelen dat het bedrijf wel sterk is in de fluorchemie (dus de zachte CFK's), maar dat andere alternatieven als dimethylether van bedrijven als het Nederlandse Akzo komen.

Toch, ondanks alle sceptis over de nobele uitgangspunten van de industrie, de boel is onmiskenbaar in beweging. Al het documentatiemateriaal van een bedrijf als Atochem, alle gesprekken, alle research is gericht op de nieuwe onschuldige CFK's – de twee die nu al in productie zijn plus degene die er aan komen (waaronder grote belofte 134a).

---

### Klein lexicon der ozonvernietigers

De chloorfluorkoolwaterstoffen die de beschermende laag ozon om de aarde aantasten hebben verschillende benamingen en afkortingen. Het zijn veelal simpele organische koolwaterstoffen bestaande uit één dan wel twee koolwaterstofatomen (C), omringd door wisselende combinaties van de halogeenatomen chloor (Cl) en fluor (F) plus waterstof (H). Bij de halons kan er ook broom (Br) bij zitten. In de verte zijn ze verwant aan de bekende vlekoplossers tetra en tri ( $\text{CCl}_4$  en  $\text{CHCl}_3$ ).

Ze worden soms *freons* genoemd. Daarnaast komt men de term *halons*, alhoewel daar eigenlijk een iets andere groep chemicaliën mee wordt bedoeld, tegen. In Nederland circuleren verschillende afkortingen. CFK's is, afgeleid van de Nederlandse term, de meest voorkomende. Een ander is CFC's – naar de Engelse term chlorfluorocarbons. Daarnaast zijn er afkortingen met cijfers volgend op de letters F dan wel CFC of CFK. Daarachter schuilt een code om aan te geven hoeveel van de diverse atomen er in het molecuul zitten. Van de meestgebruikte CFK's volgt hier de samenstelling.

De *harde* CFC's en halons die de ozonlaag het sterkst bedreigen:

CFK 11:  $\text{CCl}_3\text{F}$   
CFK 12:  $\text{CCl}_2\text{F}_2$   
CFK 11:  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$   
CFK 114:  $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$   
CFK 115:  $\text{C}_2\text{ClF}_5$   
Halon 1211:  $\text{CBrClF}_2$   
Halon 1301:  $\text{CBrF}_3$   
Halon 2402:  $\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_4$

De alternatieven die er nu al zijn worden *zachte* CFK's genoemd. Meestal is daar een chloortoatoom vervangen door een waterstofatoom. Soms worden deze CFK's dan ook wel HCFK's genoemd. De verwarring wordt nog groter met de afkorting HFA's (hydrofluoralkanen) die uit public-relationsoverwegingen wordt gebezigt door de industrie: de term suggerert dat alle chloor is vervangen, zodat de vermaledijde afkorting CFK's niet gebruikt hoeft te worden.

CFK 22:  $\text{CHClF}_2$   
CFK 142b:  $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClF}_2$   
CFK 502: CFC 22 + CFC 115  
Op langere termijn wordt veel verwacht van de volgende stoffen:  
CFK 123:  $\text{C}_2\text{HCl}_2\text{F}_3$   
CFK 134a:  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$   
CFK 141b:  $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2\text{F}$   
CFK 152a:  $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$

De onderzoeksprogramma's van de ruim 20 producenten van CFK's die er zijn in de wereld, richten zich op de alternatieven. De Afeas, de *Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study*, heeft half mei in Boulder (VS) gerapporteerd over de milieu- en gezondheidsaspecten van de nieuwe alternatieven (123, 141b, 142b, 22, 124, 134a, 152a en 125).

Tot grote tevredenheid van Atochem bleek CFK 22 bij die studie niet schadelijk voor de ongeboren vrucht. Eerder was daar sprake van, CFK 22 zou *teratogenen* zijn. Presidentdirecteur Francis Bazille van Atochem: "Sommigen dachten dat 22 een probleem was voor zwangere vrouwen. Zoals u zult begrijpen hielden wij onze adem in. Sinds kort weten we dat het gelukkig niet

zo is en we durven nu met een gerust hart te zeggen dat 22 aan het begin van een lange rij milieuvriendelijke alternatieven staat".

Een met de Afeas-studie vergelijkbaar onderzoek (getooid met het goed gekozen acroniem PAFT, *Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing*) zal nog dieper op de gezondheidseffecten van alle nieuwe gehalogeneerde koolwaterstoffen ingaan. De studie moet in 1993 klaar zijn maar eind september zal in Toulouse tussentijds verslag uit worden gebracht.

Feit is dat de angst voor de ozonlaag via de omweg van het politieke bewustzijn (het Protocol van Montreal) tot een koortsachtige bedrijvigheid in de chemische industrie heeft geleid. Atochem-baas Bazille: "Ik heb nog nooit

zo'n snelle verandering in de chemie meegemaakt en ik loop toch al een tijdje mee."

### **Verderfelijkheid**

Het is inderdaad opmerkelijk hoe snel het vooral de afgelopen paar jaar is gegaan. Bijna om de paar maanden vergaderen regeringsleiders over het probleem van de ozonlaag. In de jaren tachtig is de sputibus het symbool geworden voor verderfelijkheid, net als de koeltoren van een kerncentrale dat in de jaren zeventig was.

En dan te bedenken dat het nog steeds om een studeerkamerhypothese gaat – zij het een die de afgelopen jaren steeds waarschijnlijker is geworden. Maar een daadwerkelijk bewijs dat de chloorfluorkoolwaterstoffen de

---

*Een deel van het Atochem-complex in Frankrijk (Foto: Simon Rozendaal).*



ozonlaag aantasten is er niet – wel een vermoeden, nee, sterker, een angst.

Centraal in de hypothese staat de stabiliteit van de chloorfluorkoolwaterstoffen. Veel van deze stoffen zijn niet brandbaar, nauwelijks agressief, niet explosief en niet giftig. Ze lijken, kortom, ideaal. Dat dachten Midgley en Henne van de koelkastendivisie van General Motors in 1928 ook, toen ze de stof die nu als CFK 12 bekend staat ontdekten als alternatief voor zwaardioxide en ammoniak in koelkasten. Ammoniak is zoals ieder weet die wel eens een vloer heeft geschrobd geen prettige stof en het inerte CFK 12 leek een verbetering. Later werden andere chloorfluorkoolwaterstoffen gemaakt die voor allerlei doelen zeer aantrekkelijk waren. Ze zijn het bekendst geworden als drijfgas in spuitbussen, 25 procent van het CFK-verbruik in de wereld; maar daarnaast zijn ze ook het gebruik als koelmedium (25%), als isolatiemedium in allerlei schuimplastics (28%), als oplosmiddel bij vooral geavanceerde elektronische bedrijven (16%) en als brandblusmiddel (2%) niet te waarlozen. Ook in diverse kleinere toepassingen komt men CFK's tegen – bijvoorbeeld als fixeermiddel in lasersprinters.

Parallel met deze industriële ontwikkeling groeide in de jaren zestig het inzicht in het belang van de atmosfeer. Als er om de aarde geen atmosfeer was, zou het gemiddeld een graad of achttien onder nul zijn en ook zou er veel meer krachtige ultraviolette straling (UV-B) zijn. Het leven op aarde zou aanzienlijk moeizamer en wellicht wel onmogelijk zijn.

De aanwezigheid van die beschermende atmosfeer is door



*Het paard achter de wagen: zonnebrandmiddelen in een spuitbus (Foto: Transworld).*

de mens altijd als gegeven beschouwd, zoals de zon iedere morgen opkomt en er altijd frisse lucht is. Welnu, dat laatste bleek sinds het begin van de industriële revolutie zo'n twee eeuwen geleden minder vanzelfsprekend dan men altijd dacht. Nogal wat wetenschapsmensen begonnen zich af te vragen of de mens met al zijn industriële activiteiten misschien ook wel eens de beschermende atmosfeer in gevaar kon brengen. Nadat de Engelsman Jim Lovelock, een kei in het analyseren van minuscule hoeveelheden chemiciëlen in de lucht, eerst al had aangetoond dat de chloorfluorkoolwaterstoffen in de atmosfeer aantoonbaar aanwezig waren, kwam het Mexicaans-Amerikaans duo Molina en Rowlands aan het begin van de jaren zeventig met het model dat de chloorfluorkoolwaterstoffen, juist door hun inertie (zeg maar hun onschuldigheid) op zouden stijgen tot hogere lagen van de atmosfeer, waar de krachtige UV-B straling van de zon nog wel doordringt. Daar zou die zonnestraling als een tover-

stokje werken en van het onschuldige CFK een gevaarlijk monster maken. Dat gevaarlijke monster was een chloorradicaal dat langzaam maar zeker een van die beschermende gassen, ozon, in de atmosfeer kon 'openen'. Er is overigens een interessante overeenkomst tussen de CFK's en een andere veelbesproken groep chemicaliën, de PCB's. Deze polychloorbifenylen zijn immers ook vanwege hun onschuldigheid veel toegepast (onder andere in transformatoren). Net als bij de CFK's had geen chemicus ooit een vermoeden dat juist de onschuldigheid van de PCB's op den duur een probleem zou kunnen vormen. Ook bij de PCB's bleek *persistentie*, hardnekkige aanwezigheid in het milieu, hand in hand te gaan met inertie, de afwezigheid van agressieve chemische eigenschappen.

Als je naar voorbeelden als de CFK's en de PCB's kijkt, krijg je de neiging iets meer te geloven in de *Gaia-theorie* van Jim Lovelock: dat de aarde één groot levend organisme is. Of een stof onge-

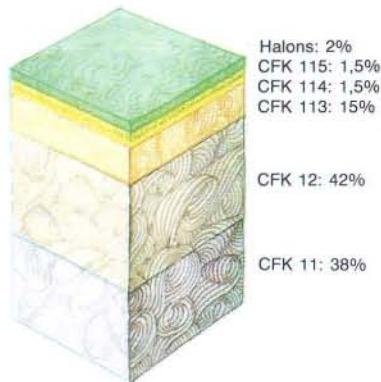
vaarlijk is of niet, als Gaia er te veel van binnen krijgt, net als een mens teveel van een bepaald voedingsmiddel eet, kan ze ontregeld raken.

De hypothese van Molina en Rowlands werd later ondersteund door allerlei laboratoriumexperimenten waarbij men inderdaad zag dat bij stratosferische omstandigheden uit een CFK-molekuul een chloorrhidaat vrijkomt en dat dit chloorrhidaat als een PacMan in staat was enkele duizenden ozonmolekülen te vernietigen.

De wetenschap sloeg alarm en aan het eind van de jaren zeventig begon de politiek langzaam in beweging te komen. Maar echt overtuigend waren de waarschuwingen nog niet. De theoretici leken nog niet erg zeker van hun zaak. In 1977 gingen de schattingen voor de ozonafbraak bijvoorbeeld opeens vijftien procent omhoog. De oorzaak hiervan was dat een bepaalde chemi-

sche reactie ( $\text{HO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{HO} + \text{NO}_2$ ) veertig keer zo snel ging dan men dacht. Een jaar later veranderden de voorspellingen weer; dit keer omdat weer een andere reactie ( $\text{HO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{HO} + 2\text{O}_2$ ) zes keer zo snel ging. De buitenwereld, waaronder politici, publieke opinie en de industrie dachten: nou, nou, die theorie is klaarblijkelijk zo wankel dat elk laboratorium-experiment herziening noodzakelijk maakt. Uiteindelijk heeft de hypothese in de jaren tachtig toch een algemene geloofwaardigheid verkregen. Nog steeds ontbreekt er het een en ander in de theorie. Zo nam de hoeveelheid UV-B straling die op aarde wordt gemeten in de afgelopen tien jaar niet toe. Er van uitgaand dat er wel – mondial gezien – een lichte verdunning van de ozonlaag is, zou dit volgens de theorie wel moeten geschieden. Er is dus een *missing link* in de relatie tussen

**De productie (onder) en het verbruik van CFK's in de wereld.**



---

### Het kwetsbare dekentje

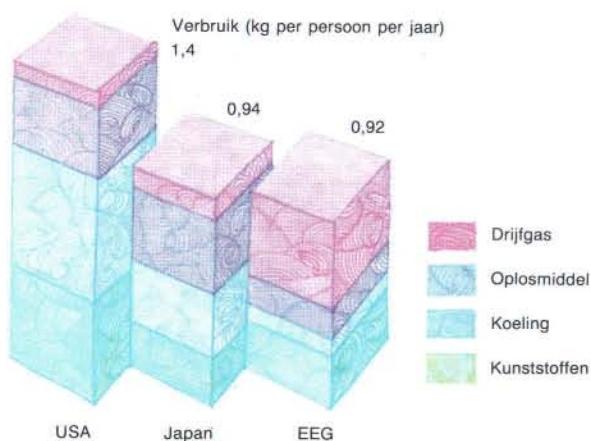
De veelbesproken laag ozon die ons tegen de schadelijke ultraviolette zonnestraling beschermt is eigenlijk met goed fatsoen geen laag te noemen. Tussen de 15 en 40 kilometer hoog, in wat wetenschappelijk de *stratosfeer* heet, bevindt zich een betrekkelijk kleine hoeveelheid ozon. Wat wij de ozonlaag noemen komt neer op een hoeveelheid die aan het aardoppervlak slechts voor een laagje van drie millimeter zou tekenen. In feite gaat het om een deken van stikstof en zuurstof waarin minieme hoeveelheden andere stoffen, waaronder ozon, zitten.

Ozon bestaat uit drie zuurstofatomen, in tegenstelling tot gewone zuurstof dat uit twee zuurstofatomen bestaat. Ozon wordt uit zuurstof gevormd door de krachtige ultraviolette straling van de zon. Daarnaast werkt dat kleine beetje ozon op zo'n 25 kilometer hoog als een filter voor diezelfde ultraviolette straling (de UV-B straling). Alleen de UV-A straling, die minder krachtig is, bereikt aldus het aardoppervlak. Zou er meer UV-B straling op aarde komen dan

zouden er veel meer huidziekten, waaronder kwaadaardige huidkanker, optreden, evenals meer oogaandoeningen (cataracten) en wellicht wordt ook het afweerstelsel tegen ziekten door deze straling aangetast. Daarnaast zouden allerlei landbouwgewassen schade oplopen, evenals het natuurlijk milieu en zouden allerlei plastic materialen sneller verouderen.

De grote angst waarop alle acties tegen de CFK's is gebaseerd, is dat er een *katalytische afbraak* van ozon zal plaatsvinden. De katalysator – een stof die chemische reacties versnelt maar zelf niet wordt verbruikt – is in dit geval een chlooratoom.

Dat chlooratoom wordt volgens de hypothese, die gebaseerd is op laboratoriumexperimenten, vrijgemaakt uit de CFC's onder invloed van ultraviolette straling. Het chlooratoom reageert vervolgens met ozon tot chlooroxyde en zuurstof en het chlooroxyde reageert met vrije zuurstofatomen tot zuurstof en chlooratomen. Het netto resultaat is dus dat ozon in zuurstof wordt omgezet en het chlooratoom weer in staat is om een volgend ozonslachtoffer aan te vallen.



**De industriële motieven om zachte CFK's te produceren zijn allereerst economisch en dan pas milieuminrend van aard**

ozon en ultraviolette straling. Dat de hypothese de laatste jaren toch zoveel aanhang heeft gekregen, komt waarschijnlijk ook omdat de wetenschappelijke geleider gesloten zijn. Er zijn nauwelijks wetenschapsmensen die de hypothese aanvechten, al is het nog steeds niet duidelijk hoe groot de dreiging is. Daarnaast heeft de milieubeweging handig gebruik gemaakt van het imago van de spuitbus: toch al zo'n onnodige verspiller. Tenslotte zal ook een rol hebben gespeeld dat tal van mensen zich realiserden dat de atmosfeer om de aarde inderdaad kwetsbaar is. Zelfs al was er onduidelijkheid over de wetenschappelijke juistheid van de CFK-theorie, voorzichtigheid leek geboden.

Vooral toen onderzoekers halverwege de jaren tachtig aantoonden dat er boven de zuidpool een 'gat in de ozonlaag' zat, begon de politieke machinerie steeds sneller te bewegen. Het resultaat was het protocol van Montreal uit 1987 waar de meeste geïndustrialiseerde landen zich voornamen het verbruik van CFK's tegen 2000 met de helft terug te dringen. Begin mei namen tachtig landen zich in Helsinki zelfs voor om nog aanzienlijk verder te gaan.

### Wijshed

Het protocol van Montreal is onmiskenbaar een aanzienlijke stap voorwaarts. Ook historisch is het bijzonder: het getuigt van wijsheid, de mens neemt actie op basis van een

theorie omdat hij bang is dat op de lange duur het leven op aarde in gevaar kan komen. Na de vele onverantwoordeijke milieu- en natuurschade die de afgelopen twee eeuwen is aangebracht, lijken we toch langzaam maar zeker van onze misstappen te leren.

Toch is het protocol van Montreal niet voldoende en is het een goede zaak dat begin mei 1989 in Helsinki het protocol is aangescherpt. Het mag absoluut niet zo zijn dat politici en het publiek het gevoel krijgen dat het probleem van de ozonlaag nu is aangepakt en dat het tijd wordt voor andere onderwerpen.

Feit blijft immers dat de hoeveelheid CFK's in de atmosfeer jaarlijks met zo'n vijf procent groeit – Montreal of niet. Dat heeft voor een belangrijk deel te maken met het verschil tussen de rijke landen en de landen die graag rijk willen worden. Weliswaar hebben 46 landen – vooral uit de geïndustrialiseerde wereld – het protocol ondertekend, maar in die 46 landen woont slechts 35 procent van de wereldbevolking. Landen als China, India, Brazilië, Korea en Taiwan die alle CFK's produceren, hebben zich in Montreal niet verplicht om minder te verbruiken en te produceren. Dergelijke landen hebben op zich wel oog voor het milieu, maar de eigen economische ontwikkeling gaat boven alles. En economisch is de produktie van CFK's interessant: alleen al in de VS, Japan en Europa verdienen anderhalf miljoen mensen hun brood in deze sector.

Zoals Atochem-topman Francis Bazile zegt: "Als de Westerse landen zich aan Montreal houden en misschien nog verder gaan, zoals de EG wil, maar de rest van de wereld trekt zich niets van

Montreal aan, dan heeft het akkoord geen enkele zin gehad."

Daarbij komt dat het makkelijker gezegd dan gedaan is om alternatieven voor de bestaande CFK's te vinden. Veel CFK's hebben eigenschappen waarvoor men niet van het ene moment op het andere een vervanger heeft. Zo is CFK 11 een uitstekende thermische isolator in polyurethaanschuim: veel van de iso-

lerende werking komt niet van het polyurethaanschuim maar juist van deze CFK. Vervangers zijn er vaak wel, maar die moeten dan ook nog eens gezond en veilig zijn. Bovendien moeten de vervangers ook voor de industrie aantrekkelijk zijn: ze moeten bijvoorbeeld een jaar of dertig mee kunnen en geld opbrengen.

Dat laatste is alleen al nodig om de hoge investeringskos-

ten voor de vervanging van de bestaande CFK's op te kunnen brengen: Atochem schat de vervangingskosten op een half miljard gulden en DuPont, 's werelds grootste CFK-producent, heeft het zelfs over meer dan tien miljard gulden voor de gezamenlijke CFK-industrie. Daarbij komen dan overigens nog eens de kosten voor de bedrijven die CFK's gebruiken en die hele nieuwe apparatuur en

---

## De ozonhistorie

### De Concorde

Het prestigevliegtuig met de supersonische snelheid is niet alleen een commerciële flop geworden omdat er teveel verzet was tegen het lawaai van de Concorde. Het verzet tegen de Concorde was ook gebaseerd op het vermoeden dat de uitlaatgassen van het vliegtuig – en met name de stikstofoxiden – de ozonlaag zouden aantasten.

### De hypothese van Rowland en Molina

In 1974 kwamen de Mexicaan Mario Molina en zijn collega Sherry Rowland van de universiteit van Californië met de hypothese dat de chloorfluorkoolwaterstoffen zo stabiel waren dat ze de stratosfeer konden bereiken en daar chloorrhiden konden vormen die ozon op katalytische wijze zouden kunnen afbreken. Eerder al had de van de *Gaia-theorie* bekende dr Jim Lovelock, die meent dat de aarde een groot levend organisme is, aangetoond dat de CFK's overal in de atmosfeer in geringe concentraties voorkwamen.

### De eerste politieke maatregelen

In 1977 vormde de door de theorie van Molina en Rowlands gealarmeerde Verenigde Naties een studiegroep over de ozonlaag die het onderzoek naar de ozonafbraak coördineert en stimuleert. De bezorgdheid komt vervolgens in een stroomversnelling als de Verenigde Staten als eerste land ter wereld het gebruik van CFK's in spuitbussen voor niet-essentiële toepassingen verbiedt. Canada en de Scandinavische landen volgen en er wordt veel gepubliceerd over de dreiging. In 1980 beslist de Europese Gemeenschap om de productiecapaciteit van de meest bedreigende CFK's (CFK 11 en 12) te bevriezen en het gebruik in spuitbussen met dertig procent ten opzichte van 1976 te verminderen. Nederland kon-

digt bij monde van minister Ginjaar aan naar vijftig procent te willen streven. In Nederland zowel als in andere landen verschijnen waarschuwingen op de spuitbussen en in veel landen stagneert de verkoop van spuitbussen. Dat is overigens slechts een tijdelijk effect.

In 1985 verplichten 22 landen zich, door middel van de ondertekening van de Weense conventie, om de ozonlaag te beschermen.

### Het gat in de ozonlaag

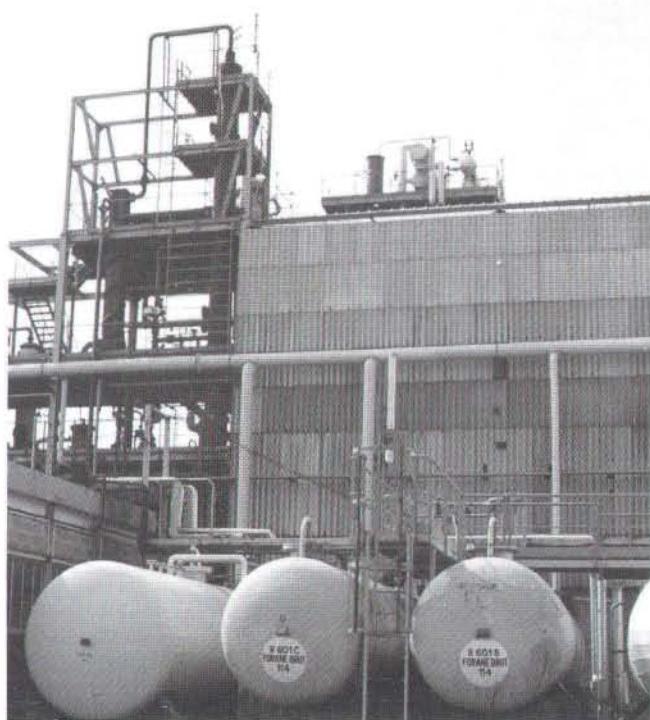
In 1985 verschijnt de eerste publikatie dat er boven de Zuidpool een gat in de ozonlaag zou zitten. De hoeveelheid ozon die daar in oktober altijd op zijn laagst is, onder meer door de lange poolnacht, was toen 40 procent lager dan in 1979. Twee jaar later blijkt het gat nog eens vijftien procent groter te zijn.

### Het protocol van Montreal

Mede naar aanleiding van de alarmerende berichten over het gat boven de zuidpool tekenen 46 landen vanaf 1987 het protocol van Montreal, dat een aanvulling is op de Weense conventie. De geïndustrialiseerde landen verplichten zich om hun verbruik van CFK's in tien jaar tijd met de helft te verminderen ten opzichte van 1986. Drie etappes zijn daarbij voorzien. In 1989 moet het verbruik terug zijn op het niveau van 1986, in 1993 moet daar 20 procent van af zijn en in 1999 nog eens 30 procent.

In Nederland sloot de overheid met de Nederlandse Aerosol Vereniging een *covenant* om het gebruik van de harde CFK's in spuitbussen voor de Nederlandse markt in 1990 te beperken tot vijf procent van het verbruik in 1976.

In maart 1989 neemt vervolgens de EG zich voor er naar te streven voor het eind van deze eeuw het gebruik van CFK's geheel te stoppen. Begin mei kwamen tenslotte zo'n zeventig landen bijeen in Helsinki om het protocol van Montreal aan te scherpen.



**CFK-tanks bij Atochem (Foto Simon Rozendaal)**

soms zelfs complete fabriekslijnen moeten aanschaffen. Ook zijn er voor sommige toepassingen nog geen alternatieven. Wel voor de spuitbus. Voor bijna alle spuitbussen zijn er inmiddels alternatieve drijfgassen: butaan, propaan en dimethylether enerzijds en de zachte CFK's als 22 en 142b anderzijds. Nog maar vijf procent van de Nederlandse spuitbussen bevat bijvoorbeeld dan ook nog harde CFK's.

Echt ideaal zijn deze alternatieven echter nog niet. Butaan, propaan en dimethylether zijn brandbaar of explosief. Dat is niet alleen voor de consument een probleem, maar vooral ook voor degene die de spuitbus vult. Het veilig werken met een brandbaar gas als propaan vereist vaak

het veranderen van een hele fabriek – tegen enorme kosten. Vandaar dat nogal wat spuitbusvullende industrieën nog steeds de voorkeur geven aan CFK's, zij het zachte.

De zachte CFK's als nummer 22 zijn echter uit het oogpunt van de bescherming van de ozonlaag niet helemaal ideaal. Weliswaar zit er minder chloor in dan bij de harde CFK's maar chloor is niet afwezig. Men schat dat de ozonvernietigende capaciteit van CFK-22 niet nul is, maar enkele procenten van die van de harde CFK's 11, 12 en 113. De hoop is dan ook vooral gevestigd op nieuwe CFK's zoals 123 en vooral 134a. In CFK 134a ( $C_2F_4H_2$ ) zit geen enkel chlooratoom, dus kan dit drijfgas geen ozon afbre-

ken. De verwachting is dat 134a binnen enkele jaren op de markt zal komen. Bij Atochem is men al in staat om de stof in tonnen te produceren. Het wachten is op alle vereiste toestemmingen.

Eenzelfde probleem speelt bij koeling. Daar is CFK 22 het enige serieuze alternatief voor de harde CFK 12. Echt gelukkig is de milieubeweging daar niet mee. Een woordvoerster van *Friends of the Earth* in de Financial Times: "We zijn bereid om CFK 22 te accepteren als overbrugging voor koeling, maar niet als een oplossing op lange termijn." Ook hier verwacht men veel van CFK 134a – waarbij niet alleen aan koelkasten in huis moet worden gedacht maar ook aan de vries- en koelkasten bij de supermarkt, de koelcontainers op vrachtwagens, de airconditioning in (Amerikaanse) huizen en auto's.

Een veel groter probleem wordt gevormd door de overblijvende categorie: schuimplastic, brandblussers en oplosmiddel voor de elektronica. Daar zijn eigenlijk nog steeds geen alternatieven voor beschikbaar. Voor de oplossen en de brandblusmiddelen zijn ze zelfs nog niet in zicht.

Dit is dan ook de reden dat de Nederlandse Stichting Natuur en Milieu begin mei alarm sloeg over de alarmerende stijging van het gebruik van CFK 113. De milieugroep schatte dat bijvoorbeeld in chemische wasserijen in Nederland jaarlijks zo'n 1100 ton CFK 113 werd gebruikt, waarvan 5 tot 10 procent wegblekt, en dat er uit de diverse laserprinters in Nederland jaarlijks zo'n 1 à 2 ton CFK 113 verdampft.

Ook wees Natuur en Milieu er op dat de Nederlandse aanpak om met convenanten te werken, nadelen heeft. Con-

venanten zijn afspraken, *gentlemen's agreements* worden ze ook wel genoemd, om tot vermindering van bepaalde milieuschadelijke activiteiten te komen. In het Nederlandse milieubeleid wordt regelmatig van deze aanpak gebruik gemaakt, als industrie-vriendelijk alternatief voor het veel hardere wettelijke verbod.

Natuur en Milieu wees erop dat zo'n convenant in de praktijk het nadeel heeft dat het gebruik van harde CFK's toch door gaat. De brief die aan minister Nijpels – die toen nog net niet demissionair was – werd geschreven: "Omdat CFK 22 duurder is dan de traditioneel gebruikte CFK's en omdat sputtbussen met zulke traditioneel gebruikte CFK's ook onder het convenant gesloten met de

Aerosolvereniging, gewoon op de markt blijven, is de polyurethaan sputibus met CFK 22 in het concurrentienadeel. Aan deze scheve situatie kan slechts een einde worden gemaakt door een verbod op de toepassing van de sterk ozonlaagbedreigende CFK's in sputtbussen met polyurethaanschuim."

#### Verkooprecord

---

Wetenschappelijk blijft de ozonaantasting een onbewezen theorie. Een die de afgelopen jaren bepaald niet overzichtelijker is geworden bemand. Zo blijken tal van chemicaliën in staat te zijn de ozonlaag aan te tasten, maar ook te versterken. De stratosfeer is chemisch ingewikkeld: er wordt dagelijks zo'n 300 miljoen ton vernietigd en

weer aangemaakt. De mens heeft met zijn actie tegen de CFK's dus slechts één van de daders in de kraag gegrepen. Maar ja, wachten tot het beeld wetenschappelijk helemaal rond is duurt nu eenmaal te lang. Nu al begint de aandacht van het publiek weer te verslapen. Een aantal jaren was de verkoop van sputtbussen op een dieptepunt maar sinds 1981 stijgt de verkoop van sputtbussen in Nederland weer gestaag en in 1988 werd bijna het record van 1974 – vóór de theorie van Molina en Rowland – bereikt. Als we dus wachten tot we helemaal zeker zijn of de CFK's inderdaad schadelijk zijn voor de ozonlaag hebben we inmiddels de ozonlaag weggespoten.

---

#### JAN VAN DEN ENDE

---

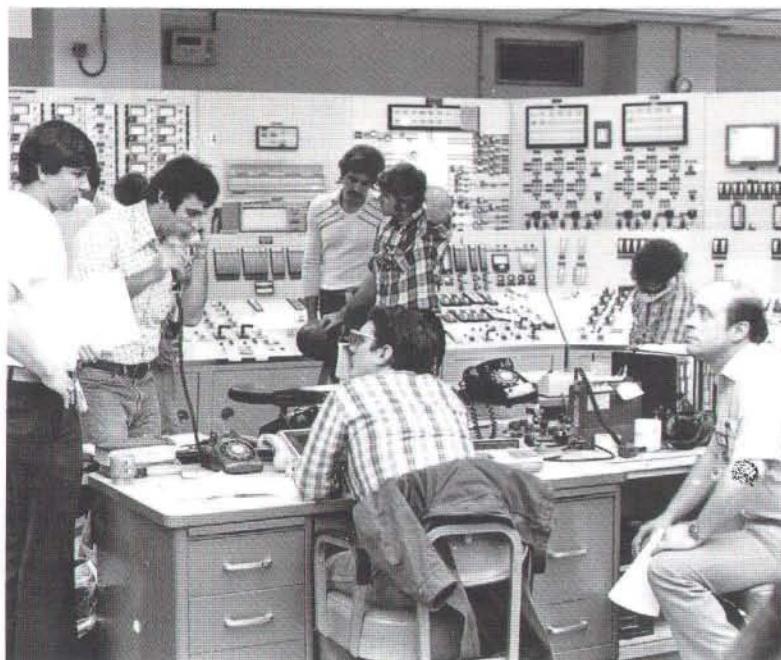
# OEFENEN MET EEN KERNRAMP

**In het Duitse Essen worden operators van kerncentrales getraind op simulatoren**

Iedereen kent ze wel: de videospelletjes waarbij je je in een snelle auto waant. Je stuurt behendig langs rotsen en ontwijkt tegenliggers. Schakel je niet op tijd over naar de volgende versnelling dan blijf je bliepend staan met een kapotte voorruit. Voer je de snelheid al te ver op, dan wordt de dolle rit beëindigd door een plotseling opduikende politie-auto. Maar weet je al deze gevaren te ontwijken dan behaal je een goede klassering. Het computerprogramma in

zo'n spelletje simuleert het gedrag van de auto. Dit soort programma's wordt ook voor andere doeleinden gebruikt. Ze worden bijvoorbeeld toegepast voor het trainen van piloten (zie ook Natuur en Techniek van volgende maand). De piloten leren in simulatoren wennen aan allerlei reacties van het toestel nog voordat ze de grond verlaten. Ze worden getraind in situaties die zich in werkelijkheid niet zo snel voordoen. De behoeft aan simulatoren voor piloten vormde in de Tweede

Wereldoorlog zelfs één van de drijfveren om computers te gaan bouwen. Later werden bijvoorbeeld ook simulatoren gebouwd voor het trainen van de stuurliji van grote schepen. Momenteel begint men ook de operators van kernenergiecentrales met simulatoren te trainen. In het Westduitse Essen is een bedrijf gevestigd dat simulatoren van centrales heeft gebouwd. De Kraftwerk Simulator Gesellschaft, heeft zich volledig gespecialiseerd in de training van operators.



De controlekamer van de TMI-centrale in Harrisburg ten tijde van het ongeval (Foto: Metropolitan Edison).

Elke controlekamer vult een gehele zaal met panelen met meters en schakelaars. De belangrijkste bedieningspanelen zijn in het midden opgesteld. Er zijn in totaal zo'n vijf controlekamers nagebouwd; ieder behoort bij een bepaald type kernreactor. Achter de panelen zit geen centrale, maar huist een computer die de werking van de centrale nabootst. Bij iedere handeling van de operator berekent de computer hoe de centrale zou reageren, en alle meters op de panelen worden in de juiste stand gezet. Ook simuleert het programma allerlei fouten die zich in de systemen kunnen voordoen. Bedrijfsleider Hoffman: "De simulatoren kunnen 500 verschillende defecten nabootsen. In een trainingsprogramma leren de operators daar op te reageren. Er worden hier operators van een groot aantal kerncentrales uit Duitsland, maar ook van

centrales in Nederland en Zwitserland, getraind."

Operators hebben een nogal uitzonderlijk beroep. Dag en nacht moet minstens één van hen in de controlekamer van de centrale aanwezig zijn. Ze hebben echter niets te doen. Alleen als er iets bijzonders gebeurt moeten ze ingrijpen. Maar dat ingrijpen kan van levensbelang zijn. Vanwege deze werkomsomstandigheden selecteert men in Nederland vaak scheepswerktuigbouwkundigen voor dit werk. Zij hebben geleerd problemen met grote systemen op te lossen. Bovendien zijn ze gewend om na vele uren zonder moeilijkheden plotseling in actie te komen.

#### Kritiek

---

De operators in de controlekamers worden bij ongelukken met kerncentrales vaak als één van de oorzaken ge-

zien. Ze hebben niet op het juiste moment de juiste handelingen verricht. Door de kritiek op de veiligheid van kerncentrales beginnen de producenten van kernenergie steeds meer aandacht aan de opleiding van de operators te besteden. Ze financieren daarom de bouw van de simulatoren. De kosten van de nieuwst gebouwde simulator alleen belopen al zo'n vijftig miljoen. Met de simulatoren kunnen de operators leren om te reageren op een situatie die zich in de praktijk zelden of nooit voordoet. Ze kunnen zelf allerlei experimenten uitvoeren, die ze in werkelijkheid nooit mogen doen.

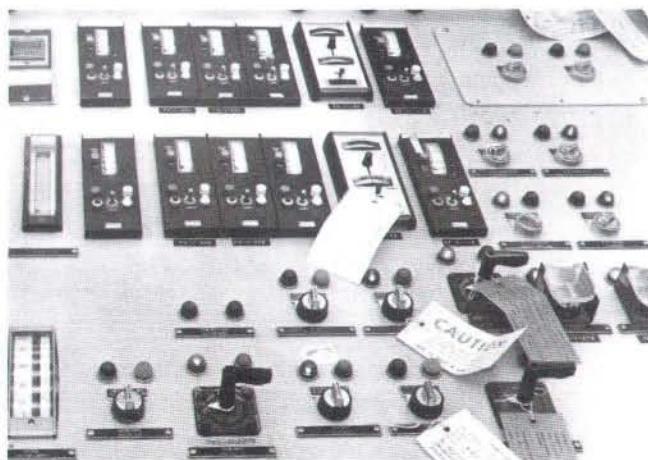
De vraag is of de operators door deze training ook daadwerkelijk minder fouten maken. Op het eerste gezicht lijkt het antwoord positief: een operator die een aantal ongelukssituaties heeft 'meegemaakt', zal beter weten wat

hij of zij in zo'n geval moet doen. Je mag verwachten dat hij of zij beter zal functioneren. In werkelijkheid hoeft dit echter niet het geval te zijn. G. Heslinga is medewerker van de KEMA en specialist in het maken van risico-analyses van menselijk handelen. Heslinga benadrukt dat een training niet per definitie tot positieve resultaten leidt: "Het is belangrijk dat operators begrip krijgen van de werking van het systeem, zodat ze zelf kunnen bedenken wat er in een bijzonder geval aan de hand is. De vraag is of hen dat bij de trainingen wel wordt bijgebracht. Het kan heel goed zijn dat de operators juist een standaard-handelingspatroon krijgen aangeleerd, zo van: als dit gebeurt, dan moet ik dat doen. Dat betekent dat ze wel leren op bekende situaties te reageren, maar niet op onverwachte gebeurtenissen. Als dat het geval is, wordt de veiligheid door zo'n training niet bevorderd. Mijn indruk is echter dat men hier in Essen de operators begrip tracht bij te brengen."

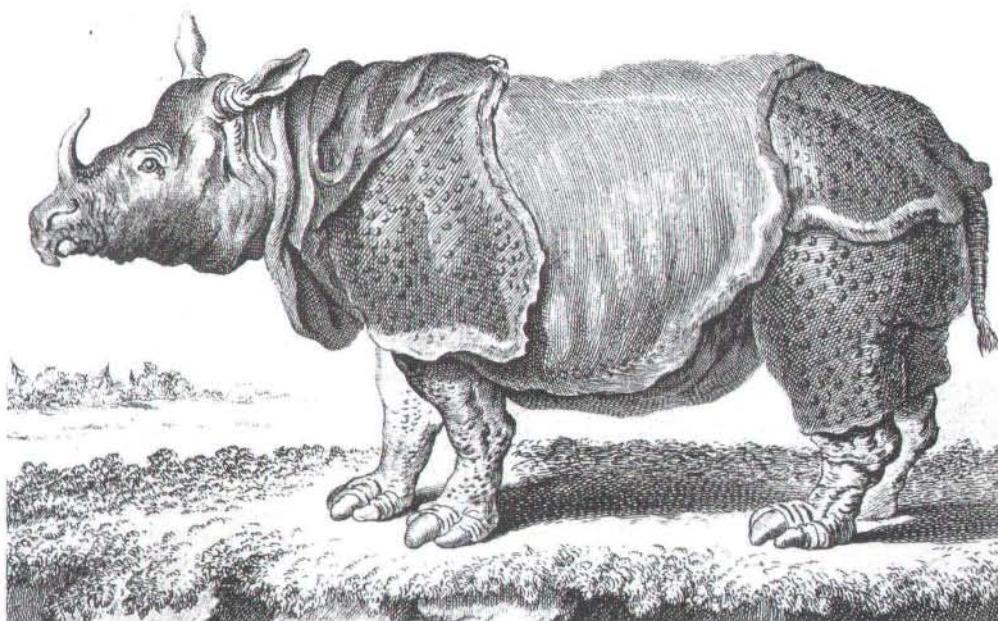
Niet alleen de wijze van trainen maar ook de simulator zelf is van belang. Bedrijfsleider Hoffman benadrukt dat het de bedoeling is dat de simulatoren de realiteit exact weergeven. Dit is een vereiste: als verschijnselen op de panelen van de simulator op een bepaalde fout wijzen, terwijl het in werkelijkheid soms om een andere fout gaat, kan de operator de verkeerde verwachtingen koesteren. De operator leert dan een verkeerd gedragspatroon en kan door de training juist slechter gaan functioneren. Dit is vooral van belang bij noodgevallen, extreme situaties die zich in de praktijk weinig voordoen. Er is op dit punt namelijk een verschil tussen kerncentrales en andere simulatoren. Ervaring met het besturen van een auto in een computerspelletje geldt niet als een rijopleiding. Evenmin kunnen piloten na hun training in de simulator een uitvoerige praktijkopleiding missen. Maar bij piloten geldt al: in de praktijk maken ze niet alle noedsituaties mee die ze in de simulator kunnen

oefenen. Sommige ervan zijn nu eenmaal veel te gevaarlijk. Dus als de piloot weer in zo'n noedsituatie terechtkomt, moet hij of zij op de simu-tortraining kunnen vertrouwen. Nu kan een piloot een groot ongeluk veroorzaken. Maar een ongeluk met een kerncentrale is van een andere orde.

Het is daarom bij dit soort simulatoren van nog groter belang dat noedsituaties net zo worden gepresenteerd als ze zich in werkelijkheid voordoen. Om dat te bereiken is informatie nodig over fouten in kerncentrales. Deze is echter schaars. Er kunnen theoretische risico-analyses worden gedaan, maar die zijn niet altijd volledig. Fouten zijn nu eenmaal doorgaans juist die zaken waar vantevoren niet aan gedacht is. Blijft over: informatie uit de praktijk. Beschikt men bij vliegtuigen na een ongeluk over een black box, over noedsituaties in kerncentrales zijn weinig gegevens bekend. Over belangrijke storingen komt maar weinig informatie naar buiten. Die wordt door alle betrokkenen liefst globaal gehouden, en is moeilijk bruikbaar voor een simulator. In Essen baseert men zich grotendeels op gegevens die de fabrikanten van centrales verstrekken. Het is echter de vraag in hoeverre je erop kunt vertrouwen deze exacte informatie verschaffen over de gebreken in hun eigen producten. Als dat niet het geval is, is het onduidelijk of de trainingen een positieve invloed op het handelen van de operators in uitzonderlijke situaties hebben. De simulatoren vergemakkelijken ongetwijfeld het opleiden van de operators, maar een garantie dat ze de kans op grote ongelukken verminderen bieden ze niet.



Falende schakelaars in Harrisburg.



### Neushoorns

De neushoorn is een bedreigde diersoort. Hij heeft dat gemeen met andere grote zoogdieren als olifanten en walvissen. Het Natuur museum in Rotterdam brengt in een tentoonstelling die tot 8 september duurt, het leven en de geschiedenis van de neushoorn in beeld. Het museum vraagt daar mee ook aandacht voor het ongewisse lot van deze diersoort. De tentoonstelling omvat informatie over de nog levende soorten, hun leefomgeving, gedrag en hun verleden. Een primeur is de expositie van het vrijwel volledige skelet van een steppeneushoorn dat werd opgegraven in de Belvédère-groeve bij Maastricht. In dit nummer van Natuur en Techniek staat op bladzijden 470-482 een artikel over de archeologische opgravingen in die groeve waar dat skelet werd gevonden. De vondst

van dat skelet was het, weliswaar niet meer levende, bewijs dat in Nederland ooit neushoorns voorkwamen.

De tentoonstelling is geschikt voor alle leeftijdsgroepen. Er is een opgezette neushoorn te zien en een imposante penis op sterk water, er liggen schedels van alle recente soorten en fossiele been- den. Op video is de geboorte van een neushoorn te volgen.

Het Rotterdamse Natuur museum is gevestigd in de Villa Dijkzigt, Westzeedijk 345, 3015 AA Rotterdam en op werkdagen geopend van 10.00-16.00 uur. De toegang is gratis. Het gebouw is vanwege een verbouwing nog niet toegankelijk voor rolstoelgebruikers. Bereikbaar met openbaar vervoer tramlijn 5 en 6 en via de metrostations Leuvehaven en Eendrachtsplein.

Een tekening uit de vorige eeuw van een Indische neushoorn.

Opgezette neushoorn in het Natuur museum Rotterdam (Foto: Kamermee).



### Andere machines

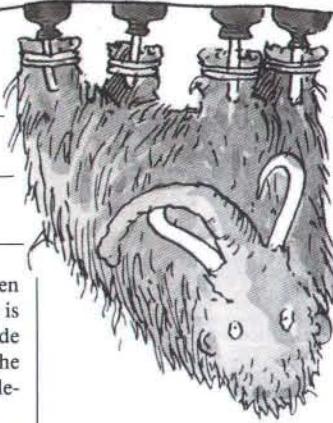
**David Macaulay. Over de werking van de kurketrekker en andere machines.** Uitg. Van Holkema & Warendorf. ISBN 90 269 4430 6. f 59,50 of BF 1195.

Overall om ons heen zoemen motortjes en motoren, staan apparaten en slingeren gereedschappen. We gebruiken ze als ons dat zo uitkomt, of als we gewicht zijn voor de reclame die beweert dat we ze nodig hebben. In de vorm van schroovedraaier en kurketrekker zijn hun functies herkenbaar en is ook hun werking wel te achterhalen, maar om vele andere hulpmiddelen zit een doos, van kunststof of metaal. Het enige dat uitsteekt zijn knoppen, een snoer of iets anders functioneels. We herkennen de stofzuiger aan zijn slang, de haardroger aan een windtuit, maar het verschil tussen een magnetron en een elektrische oven is vaak al moeilijk te zien. Vormgevers scheppen er soms behagen in aan een apparaat een zo eigen jasje te geven dat nog maar moeilijk is te zien wat het moet doen.

Gelukkig genieten delen van de schoolgaande bevolking tegenwoordig onderwijs waarin aan de inhoud van al die dozen in en om ons huis aandacht wordt geschonken. De werking ervan wordt ontrafeld en daarbij stuitten docenten en leerlingen vanzelf

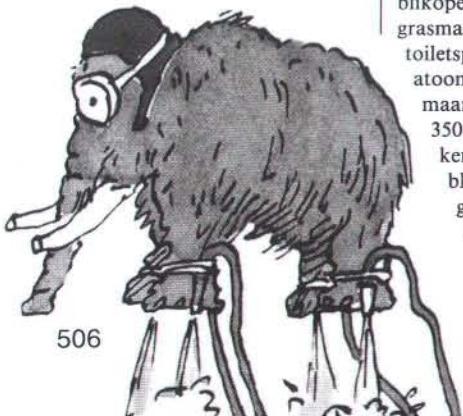
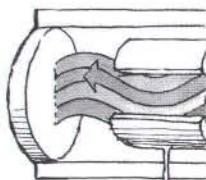
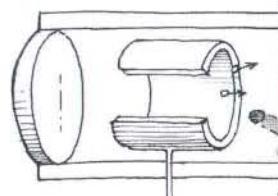
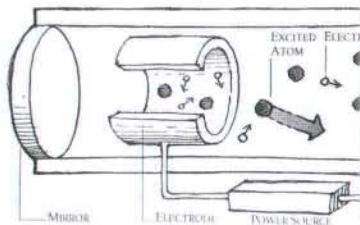
op algemene natuurkundige en chemische wetmatigheden. Dat is handig want daarover gaan de examens; niet over die elektrische en mechanische dozen die ons leven vergemakkelijken.

Niet iedereen volgt zulk onderwijs en toch zijn er mensen die bij gebruik van hun apparaten worden geplaagd door de vraag: hoe werkt het eigenlijk? Voor die mensen is er sinds vorige maand een mooi boek op de markt waarin vele apparaten zeer aantrekkelijk zijn gepresenteerd en worden uitgelegd. In Nederlandse vertaling heet het werk 'Over de werking van de kurketrekker en andere machines'. In 't Engels, waaruit vertaald is, luidde de titel simpelweg 'The way things work'. De titel met die kurketrekker erin is vast bedacht door iemand met een technologievrees die dacht dat een grappige titel, verwijzend naar alcoholgebruik, noodzakelijk was voor de verkoopcijfers. Dat lijkt mij onnodig. Toegegeven, het boek zelf is grappig. Er treedt een mammoet in op, we zien hem op vrijwel iedere pagina, en dat dier helpt bepaalde principes zonneklaar te maken. Maar dat is nog geen reden die kurketrekker in de titel te zetten. Waarom geen haardroger, automotor, graancombiné, helikopter, laser, contactlens, microscoop, afstandsbediening, vloeibaarkristaldisplay, elektromotor, rookdetector, inbraakalarm, rekenmachine, streepjescodelezer, blikopener, versnellingsbak, grasmaaimachine, broodrooster, toiletpoelbak, brandblusser of atoomboom in de titel? Ik noem maar wat, het boek telt ruim 350 pagina's, allemaal getekend, met her en der tekstblokken uitleg. De tekeningen zijn niet van 't verfijnde tekentafeltype, maar sterk vereenvoudigd, terwijl we onze vertrouwde



apparaten daarop soms in vreemde omgevingen terugvinden. Commentaar vanaf de zijlijn wordt ook gegeven, niet alleen door de mammoet, maar ook door andere over de pagina's rondzwervende types. Een prachtig boek voor mensen die hun hulpmiddelen liever niet als black box behandelen. Alleen die titel is fout. En de autokatalysator ontbreekt.

Wim Köhler



## BOEKEN

### Oecologische flora deel III

Drs. E.J. Weeda (auteur), R. Ch. en T. Westra (illustratoren): Nederlandse Oecologische Flora III. Uitg. IVN, Amsterdam, in samenwerking met de VARA en de VEWIN, 1988. Gebonden, 304 blz., ISBN 90-6301-021-4. Voor VARA- en IVN-leden is de prijs f 59,50. Zij kunnen het boek bestellen door het bedrag te storten op giro 1991 t.n.v. VARA te Hilversum of giro 347147 t.n.v. IVN te Amsterdam. In de boekhandel is de prijs f 75,-.

In september 1988 verscheen het derde deel van de oecologische flora, dat wil zeggen 1½ jaar na de verschijning van deel II dat reeds in dit tijdschrift uitvoerig werd besproken (november '87, pag. 959; deel I mei '86, pag. V).

De opzet van dit derde deel is geheel identiek aan die van deel I en II. Het is een zeer waardevolle aanwinst voor de botanische Nederlandse literatuur. Degenen die reeds in het bezit zijn van de veel beter verkochte drie delen 'Wilde Planten' (Westhoff, e.a.) hoeven zich niet te laten weerhouden van de aanschaf van deze drie delen, want de opzet en informatie van deze trilogie is geheel anders. Helaas is deze flora met dit derde deel niet afgelond, hoewel dat oorspronkelijk wel de bedoeling was. Het publiek is destijds beloofd dat in drie delen de hele flora zou worden behandeld. Eigenlijk zouden er nog twee delen nodig zijn om het werk af te ronden. Het is een groot probleem of en hoe het project voltooid kan worden. Mede gezien de matige verkoop van dit werk – waarschijnlijk omdat de markt verzadigd is met fraaie natuurboeken – is het echter zeer de vraag of deel IV en V zullen kunnen verschijnen. Er is daarvoor nog geen omlijnd plan vorhanden en de financiering is ook nog niet rond. De verzamelaars van complete naslagwerken doen er dus goed aan nog even te wachten met de aanschaf van dit derde deel. Voor minder naar volledigheid streven de plantenliefhebbers, kan ik deze versie warm aanbevelen: een werk van werkelijk zeer uitzonderlijke klasse. Het steekt ver uit boven de gebruikelijk mooi ogen-de natuur- en plantenboeken waarmee de boekwinkels worden overstromd.

M.N.B.M. Driessen

NATUUR EN TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. Bodden-Welsch:

tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de CAHIERS BIO-WETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ. Abonnees op Natuur en Techniek en studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 105,- of 2060 F.

Prijs voor studenten: f 80,- of 1565 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR EN TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDSEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

## OPGAVEN &

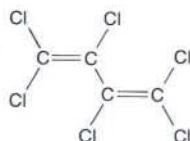
### Prijsvraag

#### Oplossing april

Bij analyse van het chloorgehalte van mosselen die in de buurt van een petrochemische industrie groeiden, werd een verbinding aangetroffen waarvan een deel van het massaspectrum werd gegeven. In de opgave werd gesuggereerd dat naast chloor ook zeker koolstofatomen in de verbinding voorkomen. Gegeven werd zelfs dat de pieken van  $^{13}\text{C}$  werden weggelaten. Verder vermeldde de opgave dat de verbinding in de mosselen waarschijnlijk afkomstig was van de ontleding van synthetisch rubber.

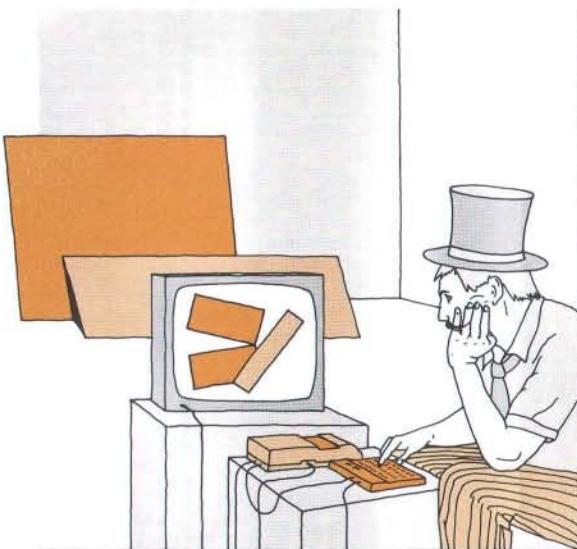
Het massaspectrum liet drie groepen pieken zien. De eerste piek van een groep lag steeds 35 m/e-eenheden van de eerste piek van de volgende groep. Binnen één groep lagen de vier à vijf pieken 2 m/e-eenheden uit elkaar. De aanwezigheid van chloor en de groepen die 35 m/e-eenheden uit elkaar liggen duidt inderdaad op molekuulionen die een chloortrakken. Natuurlijk chloor komt voor als  $^{35}\text{Cl}$  en  $^{37}\text{Cl}$  in een verhouding 3:1. Het massaverschil van 2 tussen beide isotopen verklaart de pieken die 2 m/e-eenheden uit elkaar liggen. Iedere piek erbij betekent dat een  $^{35}\text{Cl}$  is vervangen door een  $^{37}\text{Cl}$ -atoom. Er zijn dus meerdere chloortatomen in het molekool aanwezig. Bovendien weten we dat synthetisch rubber dikwijs polymeren van butadien is. Butadien bezit vier koolstofatomen. Vier koolstofatomen hebben massa 48; vier daarvan gebonden chloortatomen leveren een molekool met gewicht 188. Dat is precies de massa waar het spectrum begon. De zwaarste molekuulionen in het spectrum komen dan overeen met vier koolstofatomen en zes chloortatomen. Onontkoombaar komen we zo uit op de verbinding hexachloorbutadien, of, systematischer, 1,1,2,3,4,4-hexachloor-1,3-butadien.

## PRIJSVRAAG



1,1,2,3,4,4-hexachloro-1,3-butadien

Na loting gaat de maandprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek, naar Marc van Genderen uit De Bilt. Bovenaan de ladder verscheen J.J.M. Potters uit De Lier, met 65 punten. Zijn prijs is een gratis jaarrabonnement op Natuur en Techniek.



#### De nieuwe opgave

Iemand heeft twee stukken vloerbedekking: één vierkant stuk van acht bij acht meter en een reep van één bij zes meter. Hij heeft een rechthoekige kamer van tien bij zeven meter. Met de twee stukken wil hij zijn kamer beleggen. Hij knipt het grote stuk in twee delen en blijkt dan zijn kamervloer precies te kunnen bedekken. Hoe groot waren de drie stukken?

Oplossingen van deze opgave die beschikbaar is gesteld door de or-

ganisatie van de Nederlandse Wiskunde Olympiade moeten voor 15 juli op de redactie zijn om mee te dingen naar de maandelijkse lootprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek, en om zes punten te krijgen voor de laddercompetitie.

Oplossingen zenden naar:  
Natuur en Techniek  
Prijsvraag  
Postbus 415  
6200 AK Maastricht

# VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

## Quanten

Prof dr J. Hilgevoord

Als je een trap oploopt leg je een route af in kleine, door de grootte van de trapstappen bepaalde stappen. Het lijkt wel quantummechanica. Op subato-

mair niveau verlopen alle processen ook uitsluitend in kleine stappen. De manier waarop je naar deze processen denkt te kijken, is bepalend voor wat je ziet.



## Chimaeren

Dr R. Poelmann, dr B. Christ en dr F. Wachtler

Meestal hoor je alleen over uitstervende dierensoorten, maar af en toe komen er ook bij. De kwip en de scheit bijvoorbeeld. Dit zijn chimaeren, dieren die ont-

staan zijn uit het vermengen van embryonale cellen van dieren van verschillende soorten. Chimaeren zijn belangrijk bij de bestudering van de embryologische ontwikkeling.



## Scheve tanden

Prof dr N.E.A. Myrberg

Fietsenrek en centenbak zijn twee onvriendelijke karakteriseringen voor onregelmatige gebitten. Blijkbaar vinden de meeste mensen scheve tanden lelijk. Ook uit oogpunt van de gezondheid van het gebit, en voor de kauwfunctie zijn goed op elkaar aansluitende rechtstaande tanden onmisbaar.



## Simulatoren

B. van der Klaauw

Bij de opleiding van pilooten van vliegtuigen wordt al jaren gebruik gemaakt van simulatoren: apparaten waarin een vlucht op een zo natuurlijk mogelijk manier wordt nagebootst en noodsituaties kunnen worden gerecreeerd, dank zij de toepassing van geraffineerde software en beeldverwerking.

## LEP

Dr ir B. de Raad

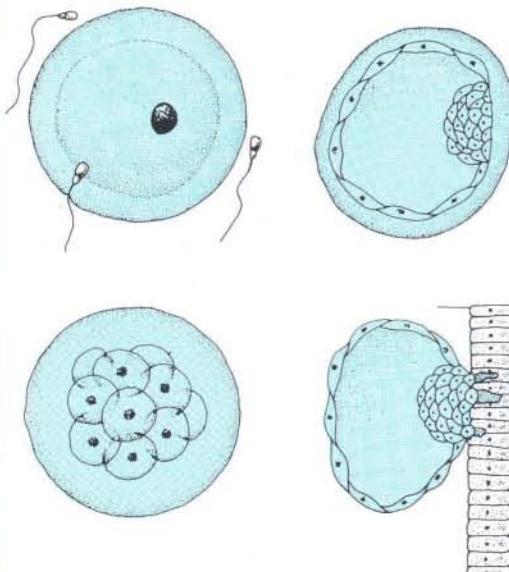
Bij het Europees Centrum voor Kernonderzoek CERN in Genève wordt binnenkort een nieuw instrument in gebruik genomen: de Large Electron Positron ring. 'Large' is de LEP zeker: in een 26 kilometer lange cirkelvormige buis worden elektronen en positronen op elkaar afgeschoten met energieën tot 55 GeV.



# DNA-diagnostiek

Onze erfelijke eigenschappen liggen vast in genen, die uit DNA bestaan. Door veranderingen in het DNA kunnen genen defect raken. In het onderzoek naar erfelijke ziekten en kanker probeert men defecte genen op te sporen. Daarnaast is men bezig om verwekkers van infectieziekten via hun DNA te identificeren. Met DNA-diagnostiek krijgt men voorkeennis over het mogelijk optreden van erfelijke ziekten en afwijkingen. De vraag is hoe mensen met die kennis omgaan. Wil iemand weten welke kans op een bepaalde ziekte hij of zij loopt, ook als er nog geen behandeling mogelijk is? Mogen anderen die kennis gebruiken?

Zojuist  
verschenen



## INHOUD

**Voorwoord**  
H.M. Dupuis

**Wat is DNA?**  
A.M. Kroon

**Voorbeelden van DNA-diagnostiek:**

**Erfelijke ziekten**  
G.J.B. van Ommen &  
P.L. Pearson

**Kanker**  
P. Borst e.a.

**Infectieziekten**  
J. van der Noordaa e.a.

**Psychologische aspecten**  
P.G. Frets & M. Vegter-v.d. Vlis

**Maatschappelijke aspecten**  
J.K.M. Gevers

## CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 2 van de 13e jaargang.  
Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek –  
Informatiecentrum – Op de Thermen –  
Postbus 415 – 6200 AK Maastricht –  
Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-  
43254044.